

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
LISTES DES ABREVIATIONS	xii
INTRODUCTION	1
Partie I. LE MOTEUR THERMIQUE A ALLUMAGE COMMANDE	2
Chapitre I. Généralités	2
I.1. Historique.....	2
I.2. Naissance	2
I.3. Naissance des différentes architectures	3
I.4. La place du moteur à allumage commandé (AC).....	4
I.5. Définition.....	4
Chapitre II. Principe de fonctionnement	5
II.1. Le moteur 4 temps.....	5
II.1.1. Cycle théorique	5
II.1.2. Cycle réel.....	7
II.2. Le moteur 2 temps.....	12
II.2.1. Avantages.....	13
II.2.2. Inconvénients.....	13
II.2.3. Les différences majeures entre un moteur "2 temps" et un moteur "4 temps"	14
Chapitre III. Les éléments constitutifs du moteur à allumage commande	15
III.1. Culasse	15
III.1.1. Cames (Arbre à cames)	16
III.1.2. Soupape	16

III.1.3. Pousoir et ressort à cames	17
III.1.4. Bougie.....	17
III.2. Bloc-moteur ou bloc-cylindres	17
III.2.1. Piston.....	18
III.2.2. Bielle	19
III.2.3. Vilebrequin.....	20
III.2.4. Bloc moteur.....	20
III.3. Carter et accessoires.....	21
Chapitre IV. Les différents circuits	23
IV.1. Distribution et alimentation	23
IV.1.1. La carburation.....	23
IV.1.2. Injection directe	27
IV.1.3. Allumage.....	28
IV.2. Lubrification et refroidissement.....	30
Partie II. ESSAIS PRATIQUES: BILAN ENERGETIQUE, BILAN TECHNOLOGIQUE ET BILAN ECOLOGIQUE	32
Chapitre I. BILAN ENERGETIQUE	32
I.1. Essence	32
I.1.1. Matériels.....	32
I.1.1.1. Informations techniques du moteur	32
I.1.1.2. Information technique de l'essence	34
I.1.2. Méthodes	38
I.1.2.1. Les grandeurs énergétiques.....	38
I.1.2.2. Les grandeurs thermodynamiques	43
I.1.3. Déroulement des essais.....	47
I.1.4. Résultats pratiques	47
I.2. Ethanol	48

I.2.1.	Matériels.....	48
I.2.1.1.	Information technique du moteur.....	48
I.2.1.2.	Information technique de l'éthanol.....	49
➤	Matières premières	54
➤	Hydrolyse – fermentation	54
➤	Séparation de l'éthanol.....	54
➤	Les indices d'octane.....	55
➤	La volatilité	56
I.2.2.	Méthodes	56
I.2.2.1.	Les grandeurs énergétiques.....	56
I.2.2.2.	Les grandeurs thermodynamiques	59
I.2.3.	Déroulement des essais.....	61
I.2.4.	Résultats pratiques	62
I.3.	Tableaux comparatifs	63
I.3.1.	Grandeurs physico-chimiques.....	63
I.3.2.	Grandeurs énergétiques.....	64
I.3.3.	Grandeurs thermodynamiques.....	65
Chapitre II.	Bilan technologique	66
II.1.	Adaptation du carburant au moteur	66
II.1.1.	Matériels	66
II.1.1.1.	Information technique du moteur.....	66
II.1.1.2.	Information technique du carburant.....	66
II.1.2.	Méthodes	66
II.1.3.	Déroulement des essais	67
II.1.4.	Résultats.....	67
II.1.4.1.	SP95E15	67
II.1.4.2.	SP95E20	67

II.1.4.3. SP95E25	68
II.1.4.4. SP95E30	68
II.1.4.5. SP95E30 corrigé	68
II.1.4.6. SP95E35 corrigé	68
Chapitre III. Bilan écologique	69
III.1. Essence.....	69
III.1.1. Matériels	69
III.1.1.1. Information technique du moteur	69
III.1.1.2. Information technique du carburant	69
III.1.1.3. Information technique de l'analyseur de gaz	69
III.1.2. Méthodes et déroulements des essais.....	70
III.1.3. Résultats.....	70
III.2. Ethanol	71
III.2.1. Matériels	71
III.2.1.1. Information technique du moteur	71
III.2.1.2. Information technique du carburant	71
III.2.1.3. Information technique de l'analyseur de gaz	71
III.2.2. Méthodes et déroulements des essais.....	71
III.2.3. Résultats.....	72
III.2.3.1. SP95E15	72
III.2.3.2. SP95E20	73
III.2.3.3. SP95E25	73
III.2.3.4. SP95E30 corrigé	74
III.2.4. Tableaux comparatifs.....	74
Partie III. DISCUSSIONS ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS	78
Chapitre I. Discussions et interprétations des résultats du bilan énergétique	78
I.1. Interprétations.....	78

I.1.1.	Les effets de l'éthanol	79
I.1.1.1.	Effets sur le rendement du moteur	79
I.1.1.2.	Effet sur l'indice d'octane	79
I.1.1.3.	Effet sur la volatilité des carburants.....	79
I.1.1.4.	Effet sur la consommation de carburant.....	80
I.1.1.5.	Effet sur la solubilité de l'eau et la démixtion.....	80
I.2.	Discussions.....	80
Chapitre II.	Discussions et interprétations des résultats du bilan technologique ..	83
II.1.	Interprétations	83
II.1.1.	SP95E15.....	83
II.1.2.	SP95E20.....	83
II.1.3.	SP95E25.....	83
II.1.4.	SP95E30.....	83
II.1.5.	SP95E30 corrigé.....	84
II.1.6.	SP95E35 corrigé.....	84
II.2.	Discussions	84
Chapitre III.	Discussions et interprétations des résultats du bilan écologique	87
III.1.	Interprétations	87
III.1.1.	Essence SP95	87
III.1.1.1.	Monoxyde de carbone ou CO.....	87
III.1.1.2.	Hydrocarbures imbrûlés ou HC	88
III.1.1.3.	Dioxyde de carbone ou CO ₂	88
III.1.2.	Mélange essence-éthanol.....	88
III.1.2.1.	Monoxyde de carbone ou CO.....	89
III.1.2.2.	Hydrocarbures imbrûlés ou HC	89
III.1.2.3.	Dioxyde de carbone ou CO ₂	89
III.2.	Discussions	90

CONCLUSION	93
REFERENCES	95
ANNEXES	a1



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:	Tableau théorique des paramètres énergétiques	42
Tableau 2:	Tableau théorique des paramètres thermodynamiques	46
Tableau 3:	Temps de consommation de 15cl d'essence.....	47
Tableau 4:	Tableau de variation de la consommation spécifique.....	48
Tableau 5:	Indice d'octane moteur de l'essence avec différentes proportions d'éthanol.....	56
Tableau 6:	Tableau théorique des paramètres énergétiques	59
Tableau 7:	Tableau théorique des paramètres thermodynamiques	61
Tableau 8:	Temps de consommation [sec] de 15cl de mélange essence-éthanol ...	62
Tableau 9:	Tableau de variation de la consommation spécifique effective.....	63
Tableau 10:	Les propriétés physiques de l'éthanol et de l'essence.....	64
Tableau 11:	Les propriétés énergétiques de l'essence et du mélange.....	64
Tableau 12:	Les grandeurs thermodynamique de l'essence et du mélange	65
Tableau 13:	Les valeurs obtenues lors de l'utilisation de SP95.....	74
Tableau 14:	Tableau récapitulatif des résultats des essais	75
Tableau 15:	Les valeurs de λ pour chaque type de carburant.....	75
Tableau 16:	Tableau comparatif de la variation de la consommation et la variation de la puissance effective	78

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Portrait de Nikolaus Otto	3
Figure 2: Fonction global du moteur thermique	5
Figure 3: Diagramme thermodynamique de Beau de Rochas	6
Figure 4: Cycle réel d'un moteur à explosion.....	7
Figure 5: L'admission.....	8
Figure 6: La compression	9
Figure 7: L'explosion et la détente.....	10
Figure 8: L'échappement.....	11
Figure 9: Schéma récapitulatif	11
Figure 10: Cycle 2 temps	12
Figure 11: Pièces d'un moteur à combustion interne.....	15
Figure 12: Les constituants de la culasse	16
Figure 13: Arbre à cames	16
Figure 14: Les constituants du bloc-cylindres	18
Figure 15: Un piston.....	19
Figure 16: Une bielle.....	19
Figure 17: Un vilebrequin.....	20
Figure 18: Un bloc moteur	21
Figure 19: Un volant moteur	22
Figure 20: Circuit de carburation.....	25
Figure 21: Système d'injection monopoint	26
Figure 22: Système d'injection multipoint.....	27
Figure 23: Système d'injection direct	28
Figure 24: Bougie d'allumage	30
Figure 25: Moteur Mercedes-Benz W201	33
Figure 26: Cycle thermodynamique	43

Figure 27: Courbe de variation de la consommation spécifique	48
Figure 28: Courbe de variation de la consommation spécifique	63
Figure 29: Courbe comparative	66
Figure 30: L'analyseur de gaz SOURIAU 4040	69
Figure 31: Taux de monoxyde de carbone	76
Figure 32: Taux de monoxyde de carbone corr.	76
Figure 33: Taux de dioxyde de carbone.....	77
Figure 34: Taux de HC.....	77
Figure 35: Courbe représentative de la formule de V. Adamov et Kuavenok	81
Figure 36: Courbe d'émission de gaz d'échappement.....	91

LISTES DES ABREVIATIONS

% : pourcent

ρ : masse volumique

°C: degré Celsius ou degré centigrade

°GL: degré Gay-lussac

AC : Allumage commandé

AEI: allumeurs électroniques intégraux

atm : atmosphère

C: carbone

ch: chevaux

cm² : centimètre carré

Comb: combustion

CSE: consommation spécifique

cte: constante

D: diamètre – alésage

E: essence

H: hydrogène

HC: hydrocarbure

K: degré kelvin

kg: kilogramme

kJ: kilojoule

kV: kilovolt

kW: kilowatt

L: litre

m² : mètre carré

m³ : mètre cube

MB: Mercedes-Benz

mJ: millijoules

mm: millimètre

MON: motor octan number ou indice d'octane moteur

N: newton

Ni: nickel

Nm: newton mètre

P : pression

Pa: pascal

Pb: plomb

PCI: pouvoir calorifique inférieur

Pe: puissance effective

PMB: point mort bas

PMH: point mort haut

PTE: Plomb Tetra-éthyle

Pth: puissance théorique

Qma: consommation massique d'air théorique

Qmc: consommation massique de carburant

R: rapport stœchiométrique

RON: research octan number ou indice recherche

s: seconde

tr/mn: tour par minute

V : volume

η : rendement

MCI : Moteur à allumage commandé

INTRODUCTION

Les ressources pétrolières du Monde Entier se tarissent de plus en plus or chaque jour nous avons recours à des moyens de transport nécessitant l'utilisation de ces ressources pétrolières, nous ne pouvons donc pas nous en passer.

Il nous faudrait alors trouver une alternative qui aurait pour mission de réduire les dépenses en énergie fossile dans un moteur à explosion en y rajoutant de l'éthanol sans porter atteinte à une modification significative aux autres performances du moteur.

C'est dans cette perspective que ce présent mémoire s'intitulant :

« CONTRIBUTION A L'ELABORATION DES BILANS ENERGETIQUES, TECHNOLOGIQUES ET ECOLOGIQUES D'UN MOTEUR A ALCOOL ETHYLIQUE » s'oriente.

Afin de pouvoir cerner ce thème, nous allons voir dans ce devoir les parties suivantes :

- D'abord nous allons détailler dans la première partie le moteur thermique à allumage à commande.
- Ensuite nous allons réaliser dans la seconde partie des essais pratiques donnant accès à l'élaboration des bilans : énergétique, technologique et écologique du moteur.
- Et enfin nous allons procéder aux discussions et interprétations des résultats obtenus.

PARTIE I. LE MOTEUR THERMIQUE A ALLUMAGE COMMANDE

Chapitre I. GENERALITES

I.1. Historique

Un moteur à allumage commandé, plus communément appelé moteur à essence en raison du type de carburant utilisé, est une famille de moteur à combustion interne, pouvant être à mouvement alternatif (à deux ou quatre temps) ou à mouvement rotatif (Wankel).

L'ingénieur belge Étienne Lenoir fabrique en 1860 le premier moteur à allumage commandé. C'est un moteur à deux temps, de rendement très médiocre, mais qu'il fabriquera à quelque 400 exemplaires faisant ainsi de lui le premier industriel de cette technique de l'allumage commandé. Le physicien Beau de Rochas théorise en 1862 la thermodynamique des moteurs à quatre temps, mais il faut attendre l'année 1872 pour que l'allemand Nikolaus Otto devienne le premier ingénieur à en concevoir un, commençant ainsi une longue série d'innovations (17).

I.2. Naissance

C'est en 1860, approximativement à la même période en France et en Allemagne, que naît le moteur à combustion interne. Le 24 janvier de cette année, Étienne Lenoir dépose le brevet d'un « système de moteur à air deux temps dilaté par la combustion des gaz enflammés par l'électricité ». En raison de l'absence de compression des gaz préalablement à l'allumage, le moteur Lenoir souffre d'un rendement médiocre. Il faut attendre le 16 janvier 1862 pour que le physicien Alphonse Beau de Rochas théorise le cycle thermodynamique d'un moteur à allumage commandé à quatre temps. C'est sur ce principe que fonctionne l'ensemble des moteurs à essence actuels. Néanmoins, Beau de Rochas est un théoricien et non un praticien, si bien que le premier moteur à allumage commandé, basé sur ce cycle thermodynamique, est mis au point par Nikolaus Otto en 1864. Dans les débuts du moteur à combustion interne à allumage commandé, seule la variation de l'avance à allumage permettait de moduler la puissance du moteur. Bien qu'assez efficace, ce procédé est limité par le phénomène de cliquetis et a l'inconvénient majeur d'une consommation élevée de carburant, quelle que soit la puissance demandée au moteur (17).

Ce système de régulation a été avantageusement remplacé par un réglage du débit du mélange air/carburant, tout en conservant l'avance à l'allumage variable, au début toujours commandée par le conducteur, puis automatiquement asservie à certains paramètres de fonctionnement du moteur.



Figure 1: *Portrait de Nikolaus Otto (17)*

I.3. Naissance des différentes architectures

En raison des hauts régimes pouvant être atteints, les moteurs deux temps ont, en théorie, un avantage sur les quatre temps. Néanmoins, leur développement stagne jusqu'au début du XX^e siècle tandis que les performances des moteurs quatre temps ne cessent de s'accroître. Les applications du moteur deux temps se multiplient alors sur les motocyclettes, ainsi que sur les hors-bords et sur le matériel destiné à l'agriculture, en raison de leur légèreté et de la possibilité de fonctionner dans n'importe quelle position. Les automobiles, quant à elles, sont généralement munies par des quatre cylindres en ligne à quatre temps. Durant près d'un siècle, l'architecture des moteurs va considérablement évoluer. Les quatre cylindres « en V » font leur apparition dans les années 1900 en course automobile, sur des modèles Mors et Ader. Par la suite, le nombre de cylindre ne cessera d'augmenter, de même que les cylindrées et les architectures alternatives.

I.4. La place du moteur à allumage commandé (AC)

La production de moteurs à allumage commandé (AC) est largement majoritaire dans le monde, puisqu'elle représente 85 % du total des moteurs thermiques alternatifs (102 millions d'unités en 2000, sur une production totale de 121 millions).

La motorisation diesel étant plutôt réservée aux unités de grande puissance, il est évident que les proportions indiquées deviendraient sensiblement différentes si elles étaient évaluées à partir des kilowatts produits.

Le domaine réservé du moteur AC est la traction automobile, qui représente 46 % de la production mondiale de ce type de moteur (36 % pour les véhicules particuliers, 10 % pour les camions), la proportion atteignant 65 % si l'on inclut les motocyclettes.

Le reste est partagé entre les moteurs agricoles (21 %), les moteurs industriels (12 %), les moteurs marins et aéronautiques (statistiques 2000). La grande majorité de ces moteurs sont à cycle 4 temps (> 90 %), les moteurs 2 temps étant cantonnés dans les petites cylindrées (moins de 500 cm³), domaine privilégié des motos et des moteurs hors-bords.

I.5. Définition

Le moteur à explosion est un moteur à combustion interne, principalement utilisé pour la propulsion des véhicules de transport (avion à hélice, automobile, moto, camion, bateau), pour une multitude d'outils mobiles (tronçonneuse, tondeuse à gazon) ainsi que pour des installations fixes (groupe électrogène, pompe).

Il s'agit de tous les moteurs utilisant comme carburant de l'essence, de l'alcool, voire un gaz (GPL) ou autre, préalablement mélangé à l'air, et dont la combustion doit être déclenchée par une source d'énergie externe (bougie). Ces moteurs transforment l'énergie potentielle chimique stockée dans un carburant en travail (énergie mécanique) grâce à des combustions très rapides, d'où le terme « explosion ». Ils sont constitués d'un ou plusieurs cylindres confinant les combustions. Dans chaque cylindre, un piston coulisse en un mouvement rectiligne alternatif. Ce mouvement est transformé en rotation par l'intermédiaire d'une bielle reliant le piston au vilebrequin, un assemblage de manivelles sur un axe.

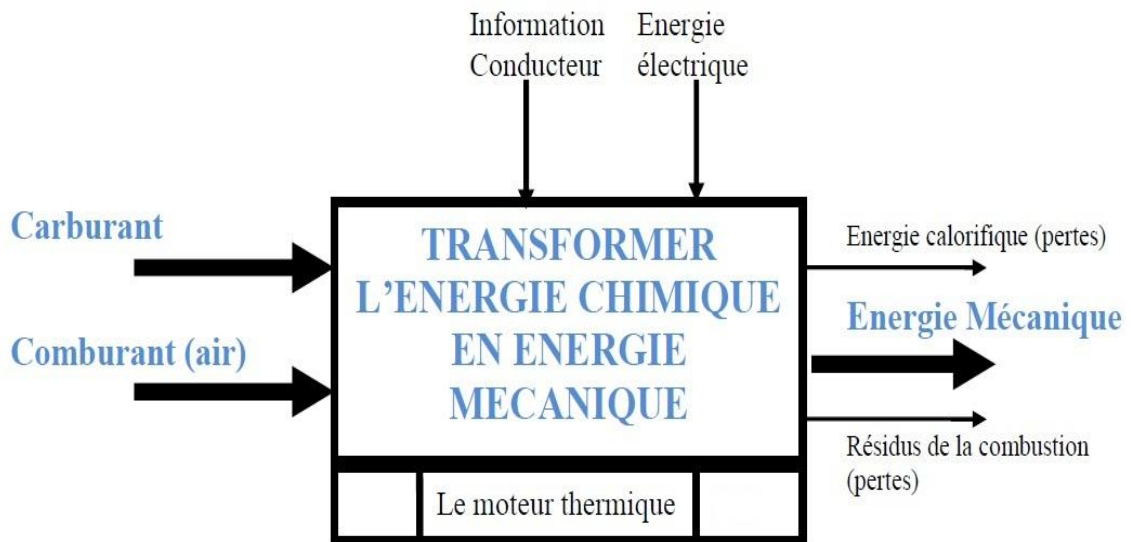


Figure 2: Fonction globale du moteur thermique (16)

Chapitre II. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Dans le monde des moteurs à combustion interne (moteurs à explosion), il existe deux types :

- le moteur 4 temps
- le moteur 2 temps

II.1. Le moteur 4 temps

Tout d'abord pourquoi est-ce un moteur 4 temps ?

Parce qu'un cycle se fait en quatre allez/retours de piston (soit 2 tours complet du vilebrequin). Le cycle se décompose en 4 étapes :

- 1- Admission
- 2- Compression
- 3- Détente/Explosion
- 4- Echappement

II.1.1. Cycle théorique

L'évolution des pressions dans la chambre de combustion en fonction du volume du cycle « Beau de Rochas » se représente dans un diagramme (p , v).

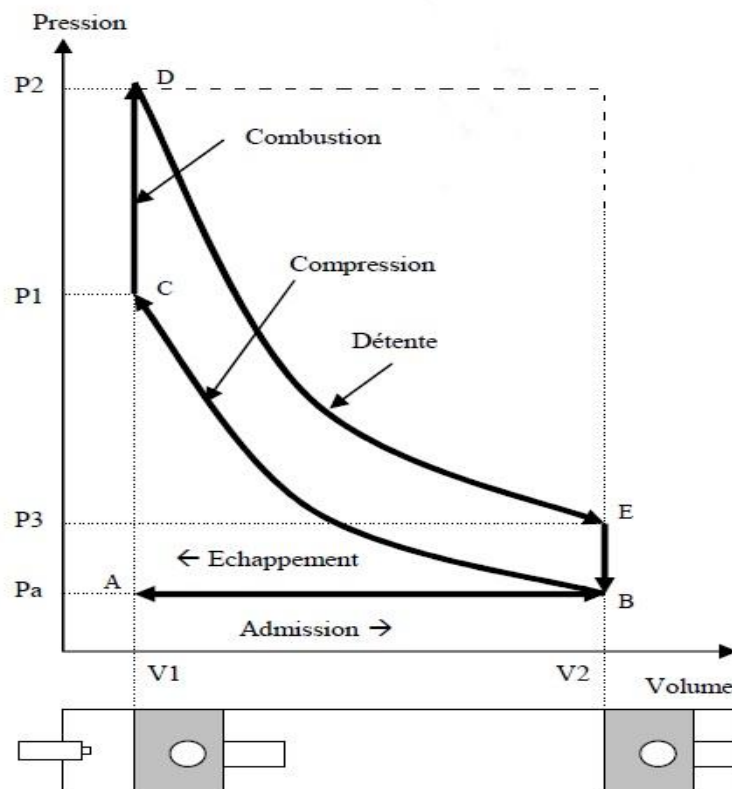


Figure 3: Diagramme thermodynamique de Beau de Rochas [3]

A → B : Aspiration du gaz à la pression atmosphérique dans le cylindre le long de la droite isobare AB ($P_A = P_B = P_{atm}$).

B → C : Compression adiabatique (sans échange de chaleur avec les parois du moteur) BC jusqu'au volume minimal V_1 , la pression devenant : P_1

C → D : Combustion instantanée du gaz à volume constant le long de la droite isochore CD avec une forte élévation de température à T_2 et de la pression à P_2 .

D → E : Détente du gaz chaud le long de l'adiabatique DE qui ramène le volume à V_2 , mais à une pression P_3 supérieure à celle de l'atmosphère.

E → B : Détente théorique des gaz dans le cylindre donc la pression tombe instantanément à la pression atmosphérique le long de l'isochore EB, la température redescend.

B → A : Echappement des gaz brûlés en décrivant l'isobare BA. Retour au point de départ A.

Le cycle Beau de Rochas a été conçu pour un moteur tel que l'entrée et la sortie des gaz se fassent par des orifices à soupapes placés à l'extrémité fermée d'un cylindre dont l'autre extrémité est constituée par la tête du piston. Toutefois, il est appliqué dans d'autres configurations de moteur, par exemple le moteur rotatif.

II.1.2. Cycle réel

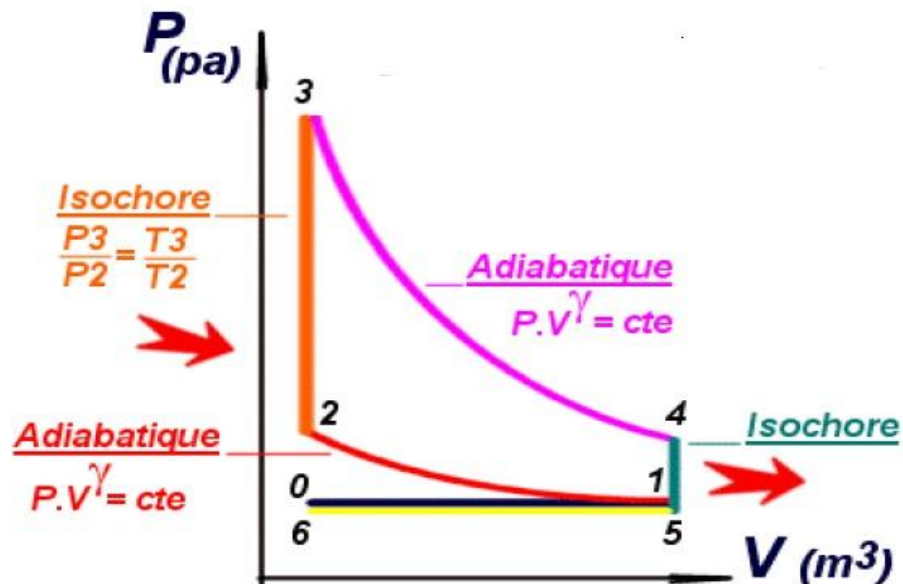


Figure 4: Cycle réel d'un moteur à explosion

LE CYCLE BEAU DE ROCHAS – OTTO EST CONSTITUE DE :

- COMPRESSION ADIABATIQUE
- COMBUSTION ISOCHORE
- DETENTE ADIABATIQUE
- ECHAPPEMENT ISOCHORE

Etape 1 : L'admission

Durant l'admission, la soupape d'échappement est fermée et la soupape d'admission est ouverte jusqu'à la descente du piston PMB. Le piston descend donc pour créer une dépression, de l'ordre de $-0,1$ à $-0,3$ bar, permettant d'aspirer le mélange air/essence venant du carburateur (6).

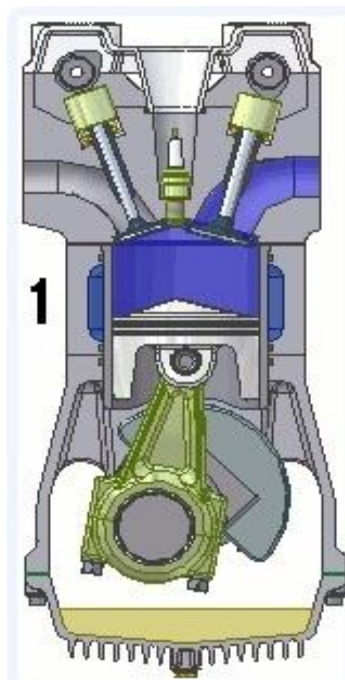


Figure 5: L'admission

Etape 2 : La compression

A cette étape, les deux soupapes sont fermées rendant la culasse hermétique. Le piston remonte et comprime le mélange air/essence jusqu'au PMH de l'ordre de 12 à 18 bars. Cette simple compression va élever le mélange carburé à une température de 300°C environ. Si la température s'élève encore de 100°C supplémentaire, le mélange risque de s'enflammer spontanément. C'est ce qu'on appelle l'auto-allumage (6).

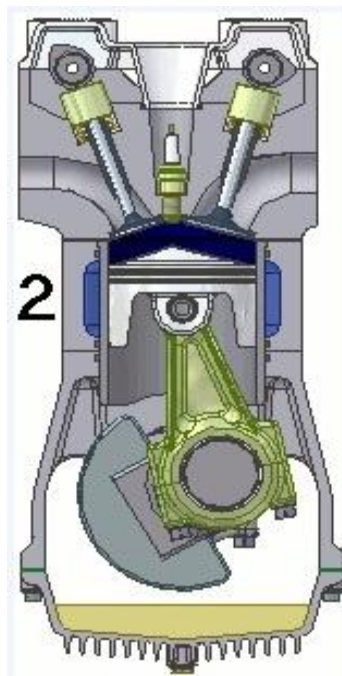


Figure 6: *La compression*

Etape 3 : La détente (ou explosion)

Le piston arrivé à son point le plus haut (PMH), une étincelle jaillit entre les électrodes de la bougie provoquant l'inflammation des gaz, en réalité l'étincelle se produit juste un peu avant la position haute du piston (c'est l'avance à l'allumage). Il en résulte une élévation de la pression au environ de 40 bars et de la température poussant alors le piston qui redescend alors vers son point le plus bas (PMB). Lorsque que le piston arrive à ce point, les deux soupapes sont encore fermées (6).

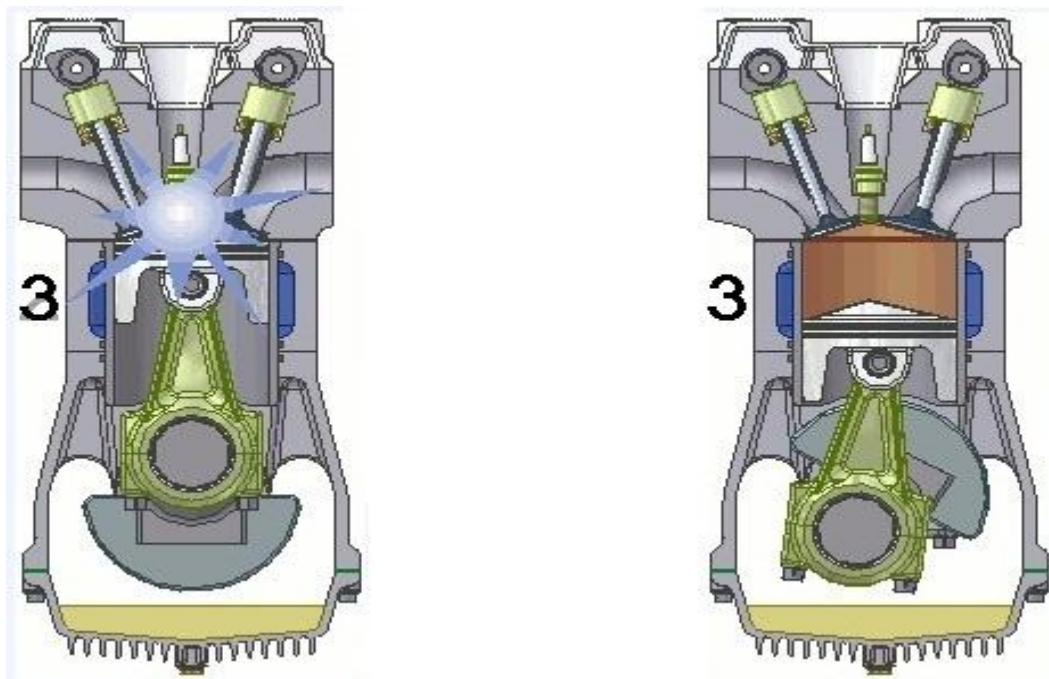


Figure 7: *L'explosion et la détente*

Etape 4 : L'échappement

La soupape d'échappement s'ouvre et le piston en remontant va pousser devant lui les gaz brûlés qui s'échappent par ce seul orifice (6).

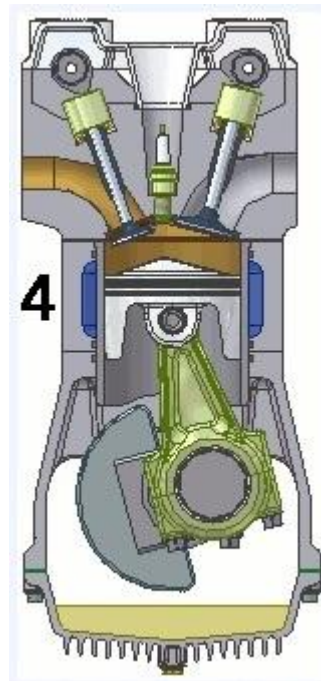


Figure 8: L'échappement

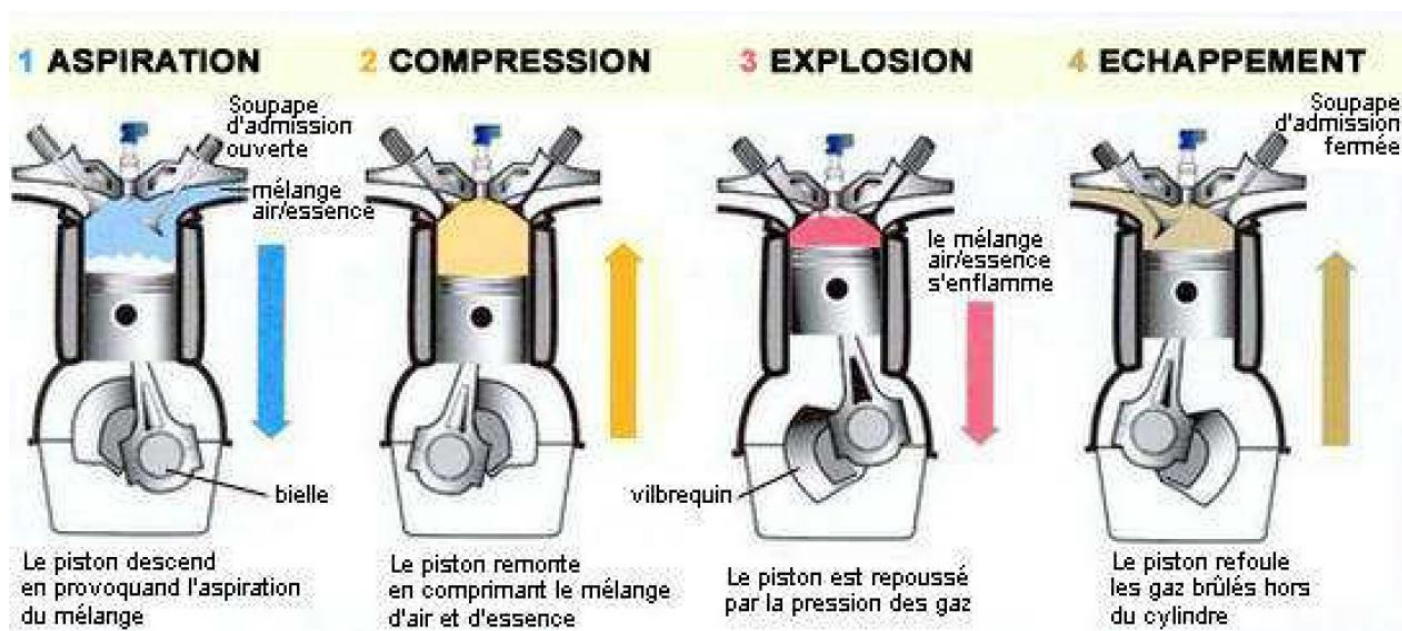


Figure 9: Schéma récapitulatif (5)

II.2. Le moteur 2 temps

Les moteurs " deux temps " respectent le cycle de Beau de Rochas en utilisant les deux côtés du piston : la partie supérieure pour les phases de compression et de combustion et la partie inférieure pour assurer le transfert des gaz d'admission (et par voie de conséquence, d'échappement). Ils épargnent ainsi les mouvements (donc latences, frottements...) de deux cycles non producteurs d'énergie et produisent davantage de couple et de puissance [3].

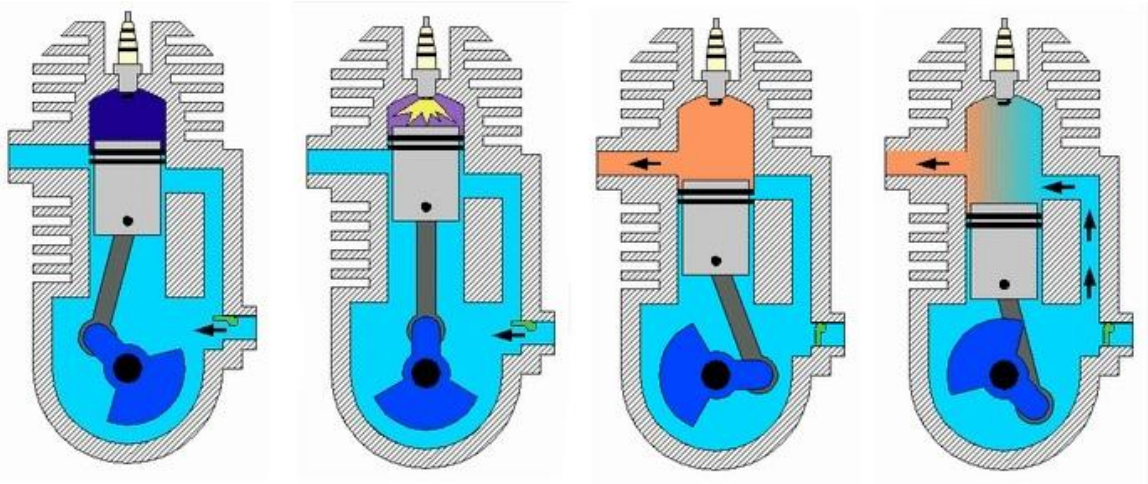


Figure 10: Cycle 2 temps (15)

Etape 1 : Piston montant vers le point le plus haut : Au-dessus du piston, le mélange air/essence est comprimé dans la culasse. Ainsi, on retrouve bien l'étape de compression du moteur 4 temps. **Au-dessous du piston**, en remontant il se crée une dépression dans le carter moteur. Le piston va alors dégager la lumière d'admission et grâce à la dépression qui règne alors, le mélange air/essence va pouvoir entrer à l'intérieur du moteur. Ceci correspond à l'étape d'admission du moteur 4 temps.

Etape 2 : Piston descendant vers le point le plus bas : Au-dessus du piston, la bougie émet l'étincelle, et provoque l'inflammation du gaz. La pression augmente et le piston est poussé vers le bas. C'est la détente. Arrivé un peu avant le point le plus bas, le piston dégage la lumière d'échappement et les gaz d'échappement vont être poussés par le mélange frais qui arrive par la lumière de transfert qui est découverte peu après la lumière d'échappement. Ce mélange frais arrive d'autant plus vite qu'il se situe au-dessous du piston et qu'il soit comprimé par la descente du piston. Cette étape est

appelé le **balayage**. Le gaz se retrouve alors au-dessus du piston au moment où celui-ci remonte. Ainsi, la détente et l'échappement dans un moteur deux temps s'effectuent dans le même temps. Ainsi on voit bien qu'un moteur 2 temps effectue un cycle en effectuant un aller et un retour de piston soit un tour de vilebrequin.

II.2.1. Avantages

Les moteurs " deux temps " permettent de bénéficier théoriquement du double de travail par cycle (un temps moteur par tour de vilebrequin, au lieu d'un temps moteur pour deux tours de vilebrequin pour le moteur quatre temps). Cependant l'**étanchéité** demeure difficile à assurer et certains effets de l'emplacement de canaux de transfert de gaz (admission et échappement) limitent le gain pratique à 70 % du travail.

Les principaux avantages de ces moteurs sont :

- une combustion à chaque tour moteur, donc une puissance massique très élevée malgré des régimes souvent relativement faibles.
- une puissance spécifique (puissance/cylindrée) très élevée possible avec un échappement accordé qui suralimente le moteur à haut régime (motos de sport).
- une simplicité de construction (peu de pièces en mouvement) ;
- une certaine fiabilité qui en découle ;
- une certaine capacité à utiliser les carburants provoquant des combustions détonantes.
- un graissage des éléments en rotation quel que soit l'inclinaison du moteur.

II.2.2. Inconvénients

Les principaux inconvénients des moteurs deux temps sont :

- une forte consommation spécifique, spécialement à faible charge (à faible régime et faible puissance) quand le moteur est poussé (résonateur accordé). Pour y remédier en partie, il faut faire appel à une injection directe de carburant.
- une courbe de puissance plus pointue que celle d'un 4 temps, qui rend la conduite moins agréable : la marge de couple disponible étant plus faible, il faut "rester dans les tours".

- une usure rapide, surtout à haut régime, due aux lumières des canaux de transferts qui torturent les segments à leur passage : ils y subissent des contraintes différentes et importantes, usant le cylindre anormalement dans ces zones) ;
- le niveau de pollution par hydrocarbures imbrûlés HC est important, du fait qu'une partie du mélange air essence admis ne brûle pas et sort directement par l'échappement (solution technique : l'injection directe), de plus l'huile utilisée pour la lubrification brûle différemment de l'essence ;
- le graissage pose un problème (surtout au niveau des segments et du bas moteur) car l'huile diluée dans l'essence pour assurer la lubrification ne privilégie pas spécialement ces zones ; de plus, elle brûle mal donc produit des composés imbrûlés, qui ont tendance à se déposer au lieu d'être évacués par l'échappement;
- faible frein moteur.

Remarque : Ces avantages et inconvénients ont été mis en évidence par rapport au moteur 4 temps.

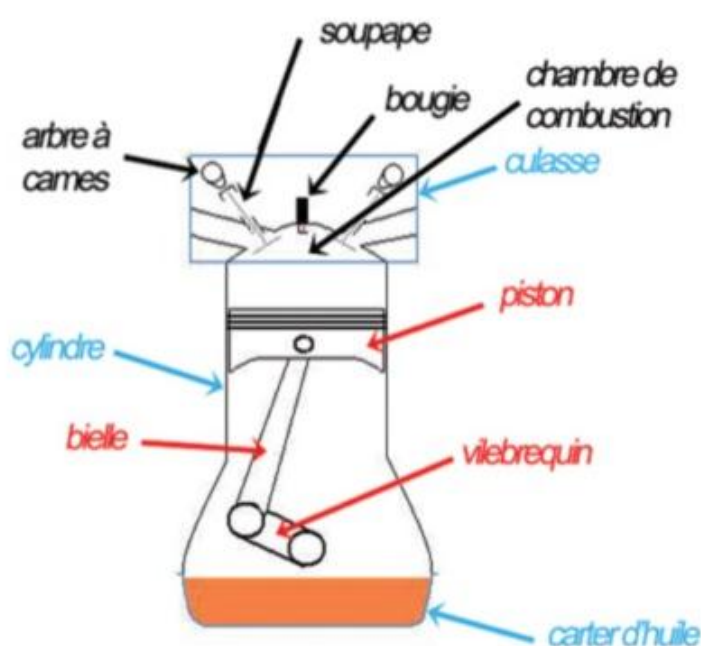
II.2.3. Les différences majeures entre un moteur "2 temps" et un moteur "4 temps"

- **4 temps :** L'huile et l'essence ne sont pas en contact. L'huile reste "sous" le piston, tandis que l'air et l'essence se trouvent "au-dessus". Le piston fait faire deux tours au vilebrequin (720°) pour accomplir un cycle complet.
- **2 temps :** L'huile, l'air et l'essence sont mélangés. Le piston fait un seul tour vilebrequin (360°) pour accomplir un cycle complet.

Chapitre III. LES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU MOTEUR A ALLUMAGE COMMANDE

Le moteur lui-même est composé de 3 principaux blocs (valable pour tous les moteurs à explosion, à part le cas particulier du moteur rotatif) :

- La culasse
- Le bloc-moteur ou bloc-cylindres
- Le carter et les accessoires



On a donc ici les pièces essentielles d'un moteur à combustion interne :

En caractère **bleu** se trouve les pièces fixes (celle qui compose l'ensemble du moteur),

En **rouge**, les pièces mobiles du carter-cylindre

En noir les pièces mobiles de la culasse

Figure 11: Pièces d'un moteur à combustion interne

III.1. Culasse

La culasse compose le haut moteur. Une des pièces les plus compliquées du moteur, car elle renferme (sauf dans certain cas) tout le mécanisme d'ouverture et fermeture des soupapes. Ces dernières permettent le remplissage et la vidange du cylindre. Elle renferme également la chambre de combustion où a lieu l'inflammation du mélange air/essence. Inflammation permise par la bougie sur moteur essence ou par auto-combustion (donc pas de bougie) sur diesel.

Pour que les soupapes puissent s'ouvrir et se fermer au bon moment, elles sont commandées par les arbres à cames eux-mêmes entraînés par le moteur (via le vilebrequin).

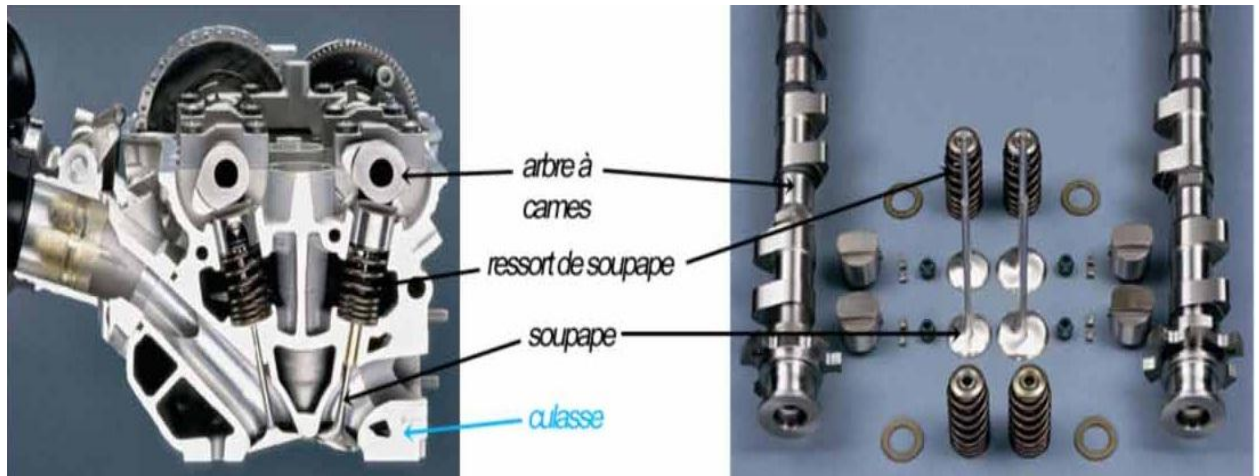


Figure 12: Les constituants de la culasse

III.1.1. Cames (Arbre à cames)

Cette pièce non circulaire sert à transformer un mouvement rotatif en mouvement de poussé. C'est l'organe qui actionne l'ouverture de la soupape. L'arbre à cames reçoit le mouvement du vilebrequin par le système pignon, chaîne ou courroie.

Il est fabriqué à partir des matériaux durs qui résistent au choc et à la torsion comme les aciers forgés (8).

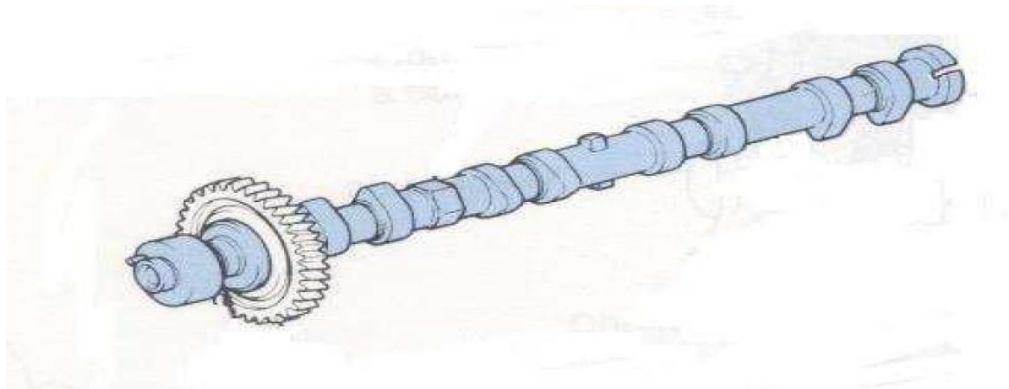


Figure 13: Arbre à cames (8)

III.1.2. Soupape

Obturbateur mobile maintenu en position fermée par un ressort. Elle s'ouvre momentanément sous la pression de la came. Elle a pour but d'établir ou d'interrompre la communication à l'intérieur du cylindre avec l'injecteur ou l'air libre (échappement).

Elle est composée de 2 parties :

- Le clapet ou champignon, assure la fermeture ou l'ouverture de l'orifice.
- La tige sert pour le guidage.

Elles sont fabriquées à partir des aciers au Nickel (alliage Ni) métal très résistant inoxydable.

III.1.3. Pousoir et ressort à cames

Le pousoir est la pièce qui actionne la soupape par le biais de la came, il est lié à la queue de la soupape.

Il a une forme cylindrique qui glisse dans un guide.

Les ressorts à cames sont des ressorts de rappel des soupapes après que celui-ci soit ouvert.

III.1.4. Bougie

Elle fait jaillir une étincelle qui met le feu au mélange air/essence, créant une explosion.

III.2. Bloc-moteur ou bloc-cylindres

Les cylindres ou bloc moteur soutient les éléments qui transformeront l'énergie acquise lors de la combustion, en énergie mécanique. On trouve donc le piston qui coulisse dans le cylindre (jeu minimale entre ces deux éléments donc), et se prend sur sa calotte (surface du dessus du piston) toute la pression engendrée par la compression, permettant alors sa descente. Sa remontée est possible grâce aux autres cylindres (ou à l'inertie moteur dans le cas d'un monocylindre de moto). L'étanchéité entre le bas moteur et la chambre de combustion est réalisée par la segmentation (ensembles de trois segments situés sur le piston).

Ce mouvement de translation est transmis, via la bielle, au vilebrequin qui transforme donc cette translation en rotation. Quand le piston est à son point le plus haut, on dit qu'il est au PMH (Point Mort Haut). On parle de PMB (Point Mort Bas) pour l'inverse. La distance entre le PMB et le PMH est la course du piston.

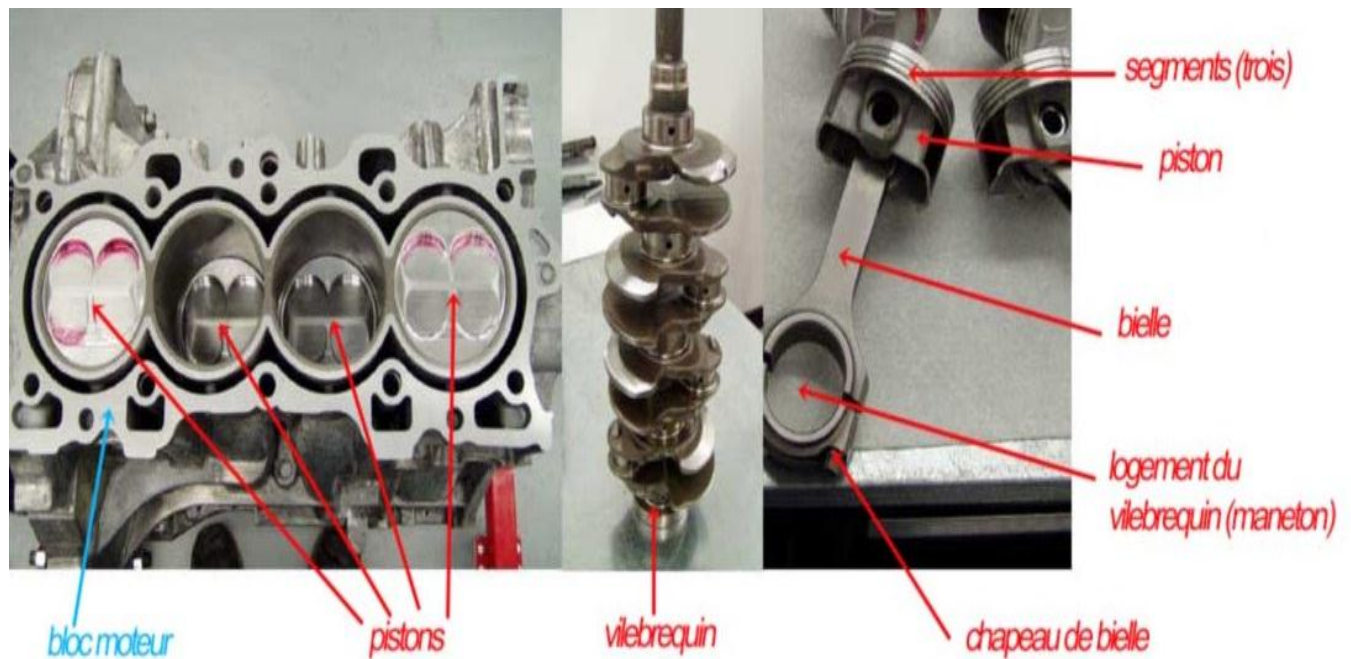


Figure 14: Les constituants du bloc-cylindres

III.2.1. Piston

Pièce cylindrique mobile, qui sert à comprimer les gaz en vue d'une explosion, et qui après l'explosion transforme une énergie thermique en énergie mécanique. Il est animé d'un mouvement rectiligne dans le cylindre. Il transmet au vilebrequin, par l'intermédiaire d'une bielle, l'effort exercé par la pression du gaz pendant la combustion et la détente.

L'usinage et le montage du piston doivent respecter certaines normes pour un bon fonctionnement du moteur, telles qu'une :

- Très bonne étanchéité même s'il y a une norme de jeu à respecter.
- Résistance et rigidité de la pièce qui doit supporter des pressions (300-400N/cm²) et température très élevés.
- Légèreté pour qu'il y ait le moins d'inertie possible lors des changements de sens de déplacement.

Ils sont fabriqués à partir des matériaux durs qui résistent au choc et à la température élevée comme les alliages d'aluminium et titane.

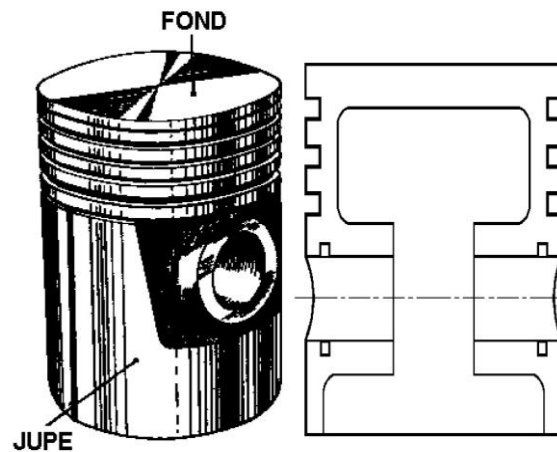


Figure 15: Un piston (8)

III.2.2. Bielle

La bielle est l'organe de liaison du piston et du vilebrequin. C'est une tige rigide, articulée à ses deux extrémités. Elle transforme un mouvement linéaire en mouvement rotatif.

Elle se compose de 3 éléments :

- Le pied de bielle
- Le corps
- La tête de bielle

La bielle est en acier trempé revenu (C30, C40).

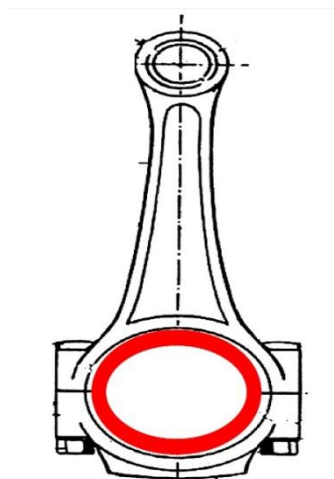


Figure 16: Une bielle (8)

III.2.3. Vilebrequin

Le vilebrequin est la pièce maîtresse du moteur dit aussi « Arbre moteur ». C'est un arbre articulé en plusieurs paliers excentrés, qui transmet indirectement l'énergie mécanique à la boîte (mouvement rectiligne en mouvement de rotation).

Il est composé de plusieurs parties :

- Des tourbillons portés par les paliers du carter.
- Des manetons sur lesquels tourbillonne la tête de la bielle.
- Des bras de manivelle ou flasque qui relie les tourbillons au maneton ou les manetons entre eux.
- Un dispositif de fixation du volant moteur.
- Un dispositif de fixation du pignon d'entraînement des organes de distribution.

Remarque : Ces différents constituants du vilebrequin sont soit en un seul bloc (en une seule pièce), soit en plusieurs parties.

Il est fabriqué à partir des matériaux durs qui résistent au choc et à la torsion comme les aciers forgés.

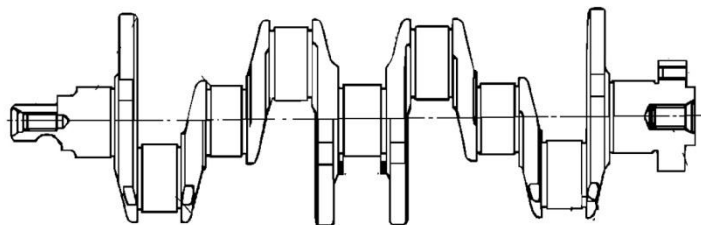


Figure 17: Un vilebrequin (8)

III.2.4. Bloc moteur

C'est le bâti du moteur qui sert de base et de support pour toutes les autres pièces constituant le moteur. Sa conception et fabrication doivent être en fonction des efforts mécanique, chimique et thermique qu'il doit subir.

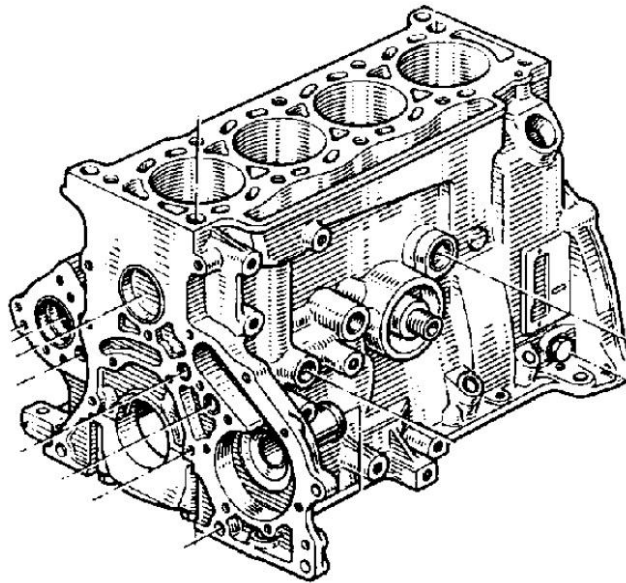


Figure 18: Un bloc moteur (8)

III.3. Carter et accessoires

Le carter d'huile vient fermer le bloc moteur et permet le remplissage du moteur en huile. Ce lubrifiant est extrêmement important dans un moteur. Son acheminement dans l'ensemble des pièces mobiles du moteur (jusqu'à la culasse donc), est assuré par une pompe à huile située donc dans le carter du bas moteur.

Les accessoires sont :

- La pompe à huile qui assure la lubrification de l'ensemble, essentiel pour le fonctionnement du moteur.
- La courroie ou la chaîne qui transmette les mouvements du vilebrequin aux arbres à cames.
- Le volant moteur dispositif qui assure le relais des mouvements du moteur à la boîte de vitesse et le démarrage du moteur par l'intermédiaire du démarreur.

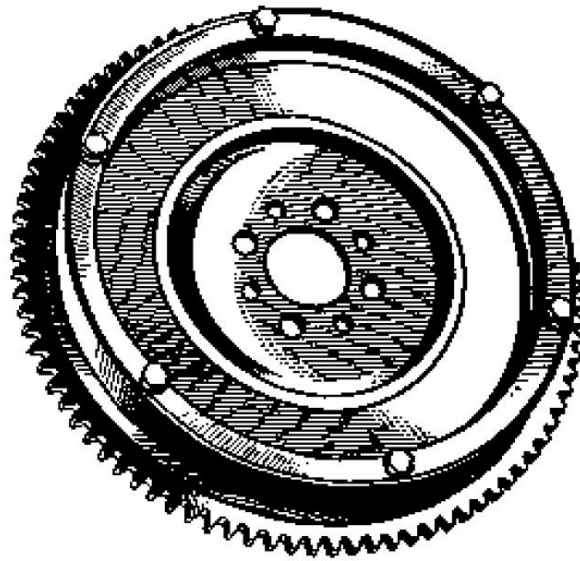


Figure 19: Un volant moteur (8)

Chapitre IV. LES DIFFERENTS CIRCUITS

IV.1. Distribution et alimentation

Le système de distribution assure le remplissage du cylindre et l'évacuation des gaz de combustion. Il comporte des soupapes, commandées par un ou plusieurs arbres à cames, et des mécanismes intermédiaires constitués de poussoirs et de culbuteurs. Le nombre de soupapes par cylindre est au minimum de 2 (admission et échappement); il peut être augmenté de manière à accroître les capacités de remplissage du moteur et donc ses performances. L'arbre à cames tourne à mi vitesse par rapport au vilebrequin (moteurs 4 temps) ; il peut être situé au niveau du bloc moteur, ou encore au niveau de la culasse (arbre à cames « en tête »). Certains moteurs ont deux arbres à cames qui actionnent séparément les soupapes d'admission et d'échappement, notamment lorsque les tubulures sont placées de part et d'autre de la culasse (système cross flow). Le système d'alimentation doit réaliser le dosage des débits d'air et de carburant pour que le mélange soit combustible et amener l'ensemble jusqu'au cylindre. Les principaux procédés d'alimentation sont la carburation, autrefois majoritairement utilisée, qui a été largement supplantée par l'injection. L'injection de carburant dans le collecteur d'admission (ou injection indirecte) est devenue prédominante en liaison avec l'introduction massive des systèmes de dépollution par catalyse. L'injection directe d'essence sous haute pression dans le cylindre, connue depuis longtemps mais peu pratiquée en automobile, voit actuellement un regain d'intérêt du fait des substantielles améliorations de rendement qu'elle permet et en dépit des complications qu'elle impose aux systèmes de dépollution.

IV.1.1. La carburation

La carburation consiste à aspirer et pulvériser le carburant dans l'admission en utilisant la vitesse de l'écoulement d'air admis. Elle est réalisée par un carburateur qui, très schématiquement, comporte un orifice calibré (le gicleur) pour doser le carburant, un étranglement (la buse) afin de créer localement sur le circuit d'admission une dépression capable d'aspirer le carburant, enfin en aval un volet pour régler la quantité de mélange admis. En plus du circuit principal ainsi décrit, il existe de nombreux circuits et dispositifs auxiliaires afin de prendre en compte tous les fonctionnements particuliers: circuit de ralenti, volet de départ, pompe de reprise, enrichisseur de pleine charge, etc. Les carburateurs évolués sont multicorps pour optimiser leur fonctionnement sur une

plage étendue de charge et de régime et leur contrôle fait appel aux ressources de l'électronique (papillon motorisé, vannes électromagnétiques, etc.). Certains moteurs fonctionnent avec des hydrocarbures gazeux (GPL, GNL...) ; la carburation se simplifie alors, du fait que la fonction pulvérisation n'est plus nécessaire et que le mélange avec l'air est plus aisé. Il faut prévoir, par contre, un système de vaporisation et de détente si l'alimentation est effectuée avec du gaz liquéfié. L'alimentation par injection indirecte est réalisée en introduisant le carburant en jet liquide sous pression dans la tubulure d'admission. L'injection peut être **monopoint** si elle se produit très en amont des cylindres ou **multipoint** lorsqu'il existe un injecteur par cylindre, placé très près de la chapelle d'admission. Le procédé le plus usité actuellement est l'injection dite « électronique », pour laquelle des injecteurs à soupape électromagnétique sont soumis à une pression de carburant constante, leur ouverture étant commandée par des impulsions électriques (Bosch Mono-Jetronic et L - Jetronic par exemple). Dans tous les cas, le système comporte une pompe électrique de mise en pression, un dispositif pour évaluer le débit d'air (plateau mobile, fil chaud, courbes programmées...), et un calculateur électronique gérant les informations issues des différents capteurs (température d'admission, pression...) et pilotant l'injection. Les fonctionnements particuliers (démarrage, transitoires, pleine charge...) sont pris en compte par des corrections programmées électroniquement.

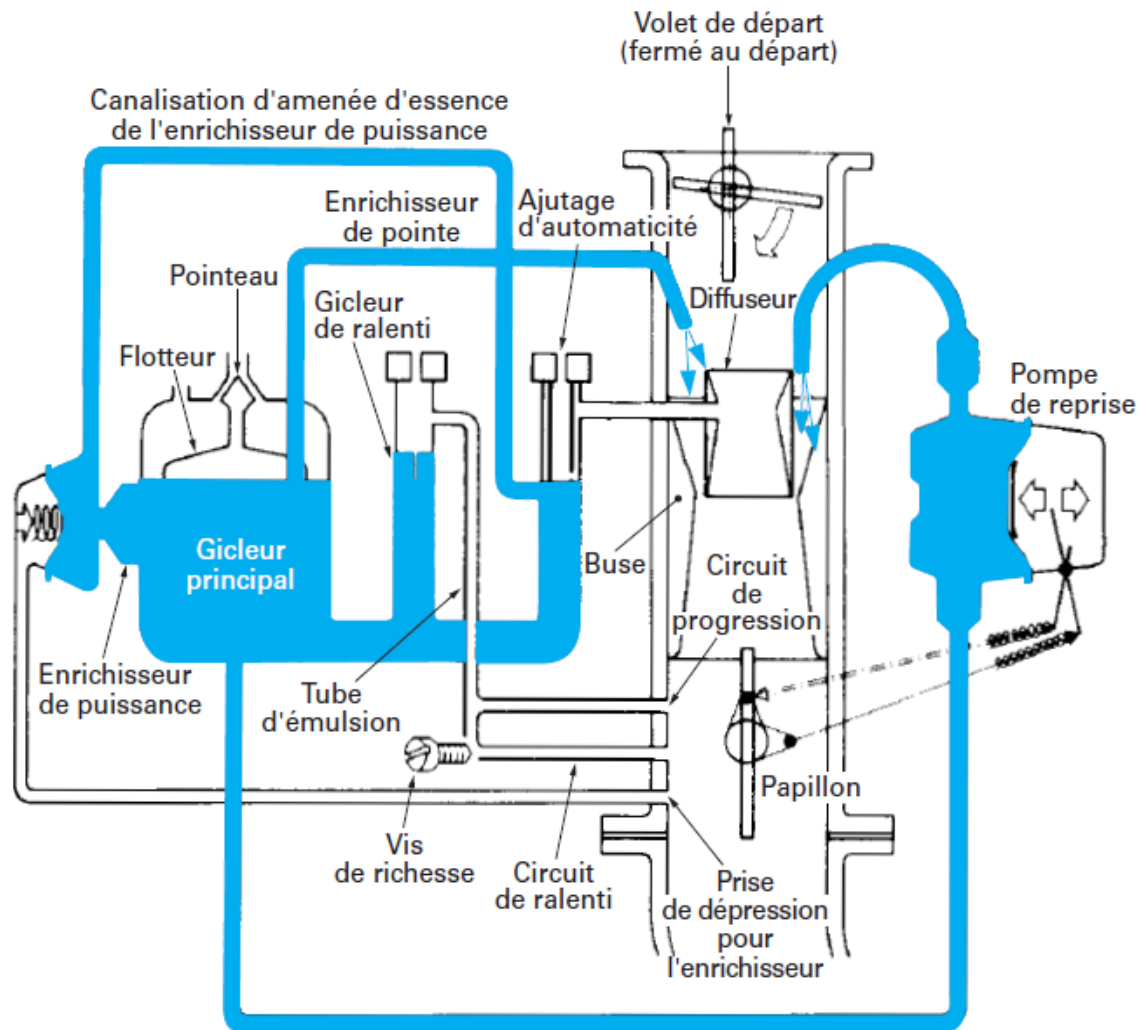


Figure 20: Circuit de carburation

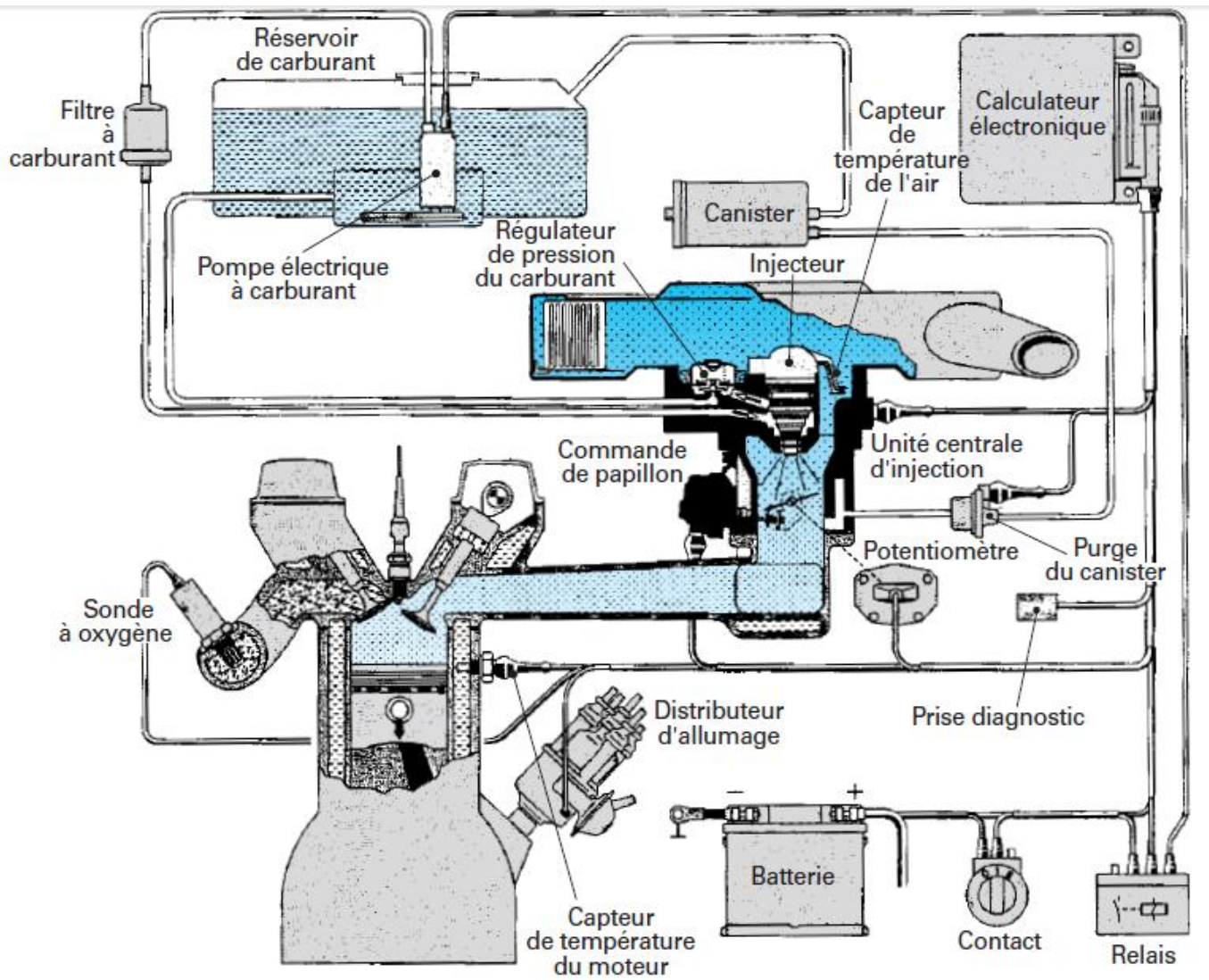


Figure 21: *Système d'injection monopoint*

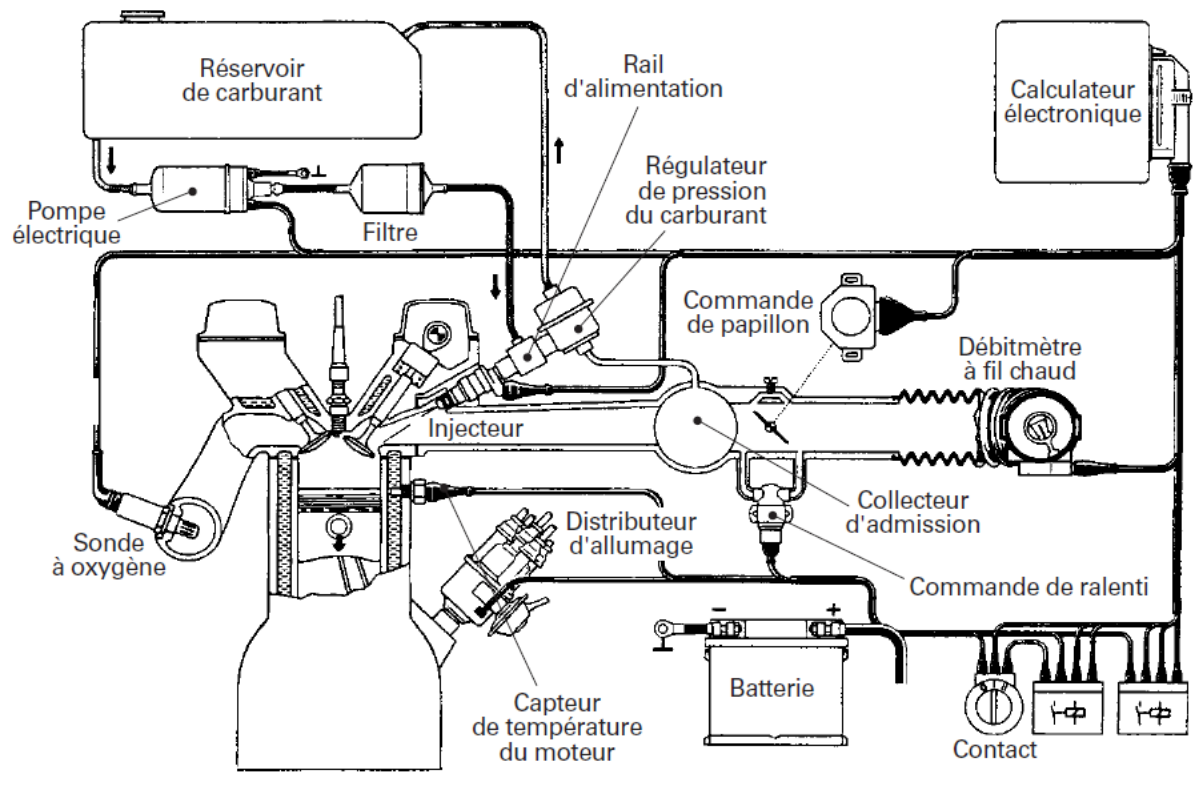


Figure 22: Système d'injection multipoint

Remarque : la dépollution des moteurs AC par pot catalytique 3 voies ne peut se réaliser qu'avec l'aide d'une alimentation par injection, seule capable de remplir les conditions rigoureuses de dosage du mélange carburé que requiert ce procédé.

IV.1.2. Injection directe

L'injection directe a pour principe d'envoyer le carburant sous pression directement dans le cylindre. Dans le cas des fonctionnements avec excès d'air (charges partielles), le carburant est injecté pendant la phase de compression. Le jet de carburant doit ainsi se vaporiser et se mélanger à l'air dans un délai très court ; la richesse du mélange n'est donc pas homogène dans la chambre de combustion. Tout l'art du motoriste est de gérer cette hétérogénéité et de pouvoir en contrôler à la fois la composition et la localisation. Dans le cas des fonctionnements en mélange homogène (pleine charge), le carburant est injecté pendant la phase d'admission et dispose du temps nécessaire pour se vaporiser et bien se mélanger à l'air. Le gain de rendement provient du fonctionnement en mélange globalement pauvre et de l'accroissement du

taux de compression qu'autorise l'abaissement des températures dans le cylindre provoqué par la vaporisation du carburant. Il y a, de plus, une réduction des pertes par pompage car l'admission d'air s'effectue en permanence à pleine ouverture. Des améliorations de 10 % du rendement sont ainsi observées sur des moteurs en production.

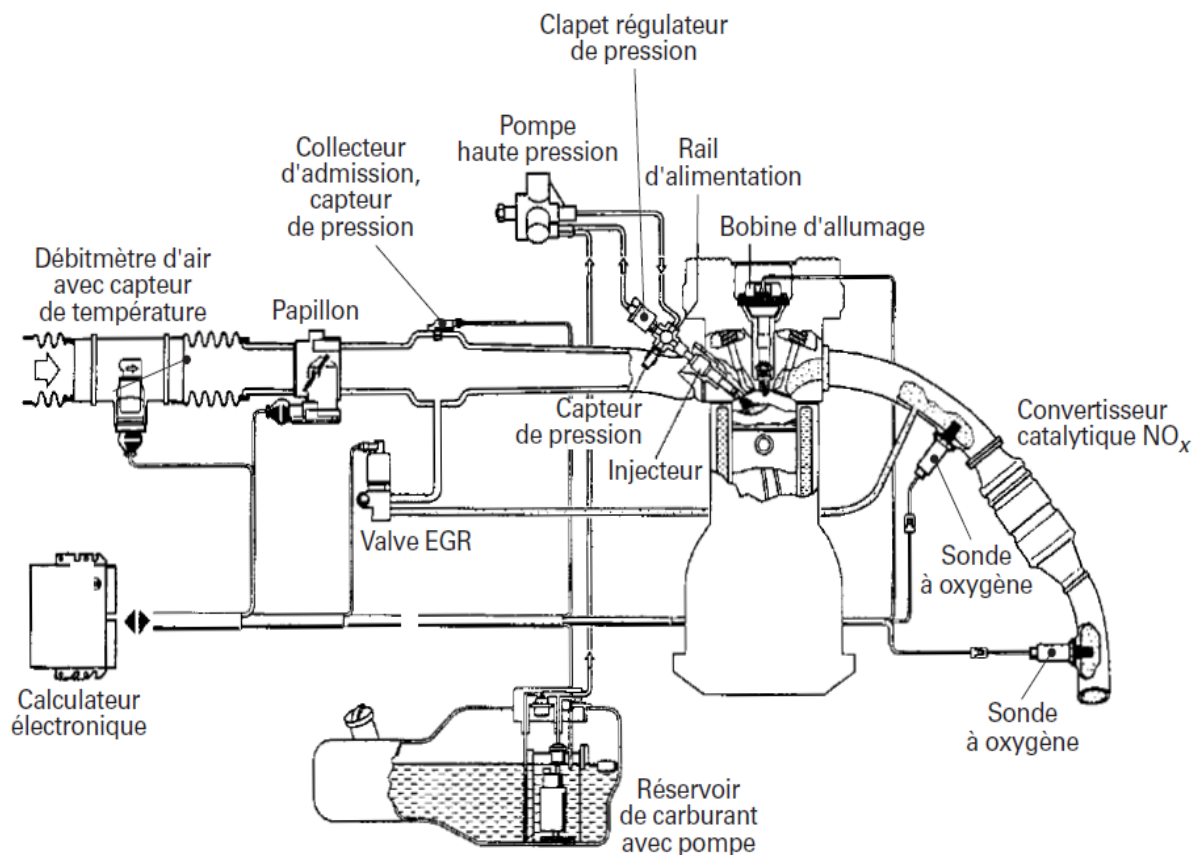


Figure 23: Système d'injection directe

IV.1.3. Allumage

L'allumage du mélange carburé est provoqué par une étincelle électrique éclatant entre les électrodes d'une bougie. Un circuit spécial assure la mise en tension, la distribution entre les cylindres et la détermination de l'instant d'allumage. Encore récemment, le circuit d'allumage se composait d'une bobine d'induction, d'un rupteur (les vis platinées), et d'un distributeur. Le rupteur créait une interruption périodique du courant, générant ainsi des impulsions que la bobine transformait en haute tension (> 10 kV). Le distributeur dirigeait le courant haute tension vers les bougies d'allumage ; un condensateur permettait d'accorder le circuit oscillant ainsi constitué. Une première

évolution, apparue dans les années 1970, a consisté à remplacer le rupteur par un transistor pour ouvrir et fermer le circuit primaire de la bobine (allumage transistorisé), apportant un gain décisif de fiabilité au système. Cette technologie est maintenant totalement supplantée par les allumeurs électroniques intégraux (AEI), pour lesquels un circuit électronique commandé par un calculateur génère les impulsions d'allumage. Ce système est d'une grande souplesse, car l'énergie et l'instant d'allumage peuvent être modulés par le calculateur en fonction d'un grand nombre de données (régime, charge, température, pollution, cliquetis...).

Les systèmes d'allumage actuels ont bénéficié de nombreuses études qui ont montré, entre autres, que l'énergie de l'étincelle pouvait varier de 0,2 mJ pour les mélanges stoechiométriques, à quelques millijoules pour les mélanges pauvres et turbulents. Un pic de haute tension est nécessaire pour initier l'étincelle, jusqu'à 30 kV pendant une fraction de milliseconde, il est suivi par un plateau de tension nettement plus faible qui correspond à la durée de l'étincelle (de l'ordre de la milliseconde) pendant laquelle a lieu l'échange d'énergie avec le milieu. L'instant d'allumage détermine le calage de la combustion dans le cycle moteur et il est éminemment variable. En effet, il doit tenir compte de la durée de combustion qui, elle-même, dépend de nombreux paramètres, les principaux étant le régime et la charge. Pour réaliser cela, les systèmes moins évolués utilisaient des procédés mécaniques, telles les corrections « centrifuges » pour le régime et la capsule à dépression pour la charge. L'électronique permet de prendre en compte beaucoup d'autres paramètres mesurés au moyen de capteurs (température de l'air, de l'eau, angle de rotation, position de l'accélérateur...), mais aussi d'intégrer des lois d'avance finement optimisées, et cela d'une manière indéréglable. Les dernières générations de systèmes d'allumage sont capables d'autoadaptation, c'est-à-dire de modifier leur comportement en fonction des évolutions du moteur au cours de sa vie.

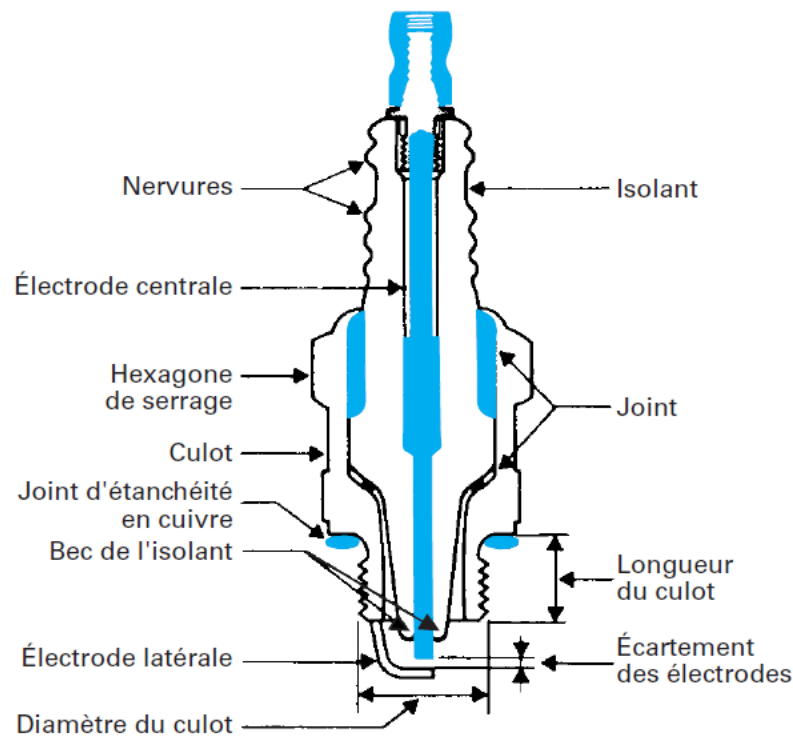


Figure 24: Bougie d'allumage

IV.2. Lubrification et refroidissement

Le moteur AC n'est pas particulièrement exigeant pour sa lubrification, sauf lorsqu'il s'agit d'utilisations spéciales (compétition, endurance...). Le circuit de graissage classique comporte une pompe (généralement à engrenages), un filtre et un réseau de canalisations qui amènent l'huile aux endroits nécessaires, les paliers d'arbres en particulier. Les cylindres sont lubrifiés par projection et, dans les moteurs performants, il se trouve des ajutages pour projeter l'huile sur les fonds de pistons et ainsi les refroidir. Des échangeurs huile-eau peuvent être aussi installés pour limiter la température du lubrifiant. Lorsqu'il y a un turbocompresseur, il est lubrifié par le circuit principal, de même pour les poussoirs hydrauliques dont les moteurs modernes sont équipés et qui servent à rattraper automatiquement les jeux soupapes-culbuteurs. Les moteurs 2 temps de faible puissance et à admission par le carter sont lubrifiés par de l'huile mélangée au carburant (2 à 3 % en volume). La plupart des moteurs AC sont refroidis par circulation d'un liquide, généralement un mélange d'eau et d'éthylèneglycol à 50 %. Les parties du moteur exigeant un refroidissement sont celles concernées directement par la combustion, c'est-à-dire la culasse (chambres de combustion) et les cylindres dans le bloc moteur. La circulation du liquide est assurée par une pompe entraînée

directement par l'arbre moteur ; la température est limitée au moyen d'un échangeur liquide-air (le radiateur). Celui-ci peut être soufflé par un groupe moto-ventilateur, dès que la vitesse du véhicule est insuffisante pour assurer naturellement les échanges. Dans les moteurs d'automobiles, le circuit de refroidissement peut contribuer au chauffage de l'habitacle au moyen d'un échangeur spécifique monté en parallèle : l'aérotherme.

Pour accélérer la montée en température du moteur lors des démarrages à froid, un thermostat limite la circulation du liquide aux circuits internes au moteur et la rétablit dans les parties externes lorsque la température est suffisamment élevée ($> 90\text{ }^{\circ}\text{C}$). Il régule ensuite cette température dans un intervalle de quelques degrés autour de la valeur nominale. Les thermostats sont généralement actionnés par une cire thermodilatable. Les véhicules actuels sont équipés de circuits scellés, fonctionnant sous une légère pression. Du fait de la pression et du glycol contenu dans le mélange, la température d'ébullition du liquide peut atteindre $130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Partie II. ESSAIS PRATIQUES: BILAN ENERGETIQUE, BILAN
TECHNOLOGIQUE ET BILAN ECOLOGIQUE

Chapitre I. BILAN ENERGETIQUE

I.1. Essence

I.1.1. Matériels

I.1.1.1. Informations techniques du moteur

Pour la réalisation de notre projet et le rendre concret, nous avons choisi un moteur dont les caractéristiques (10) sont les suivantes :

Constructeur: DAIMLER-BENZ A.G – *Stuttgart untertürkheim*

Marque : MERCEDES BENZ

Type : 124

Version: MB 190 – 190 E (MB : Mercedes-Benz ; E : Essence)

Année de lancement : 1986

Dénomination : **W201** (Code interne du constructeur pour les Mercedes-Benz berline 190 – 190 E dont la date de sortie se situe entre 1983-1992)

Reil nr : 102 010 81 02

Marque : MERCEDES-BENZ

Description générale :

- Type : moteur à combustion interne, à pistons en mouvement alternatif et vilebrequin.
- Cycle : OTTO ou Essence
- Nombre de temps : 4
- Nombre et disposition du cylindre : 4 en ligne

Dimension :

- Alésage (D) [mm] : 89,0
- Course (s) [mm] : 80,2

- Cylindrée (V) [cm^3] : 1997

Nombre de soupapes : 8

Puissance Maxi : 118 [ch] ou 87 [kW] à 5100 [tr/min]

Régime Maxi : 6000 [tr/min]

Puissance moyenne disponible : 97 [ch]

Couple Maxi : 172 [Nm] à 3500 [tr/min]

Ratios : 59 [ch/L] ou 43 [kW/L]

Consommation mixte normalisée sur 100Km : 9 [L]

Pression moyenne effective : 10.5 [bars]

Réserve de couple : 6 [%]

Puissance spécifique : 0.30 [KW/ cm^2]

Vitesse moyenne de piston : 13.6 [m/s]

Optimisation moteur : 55 [%]



Figure 25: Moteur Mercedes-Benz W201 [source : auteur]

Puis nous allons effectuer des calculs et des tests sur différents carburants notamment sur l'essence et mélange essence-éthanol à différentes proportions pour tirer les caractéristiques de ces derniers.

I.1.1.2. Information technique de l'essence

L'essence est utilisée comme carburant dans les moteurs thermiques ou les moteurs à combustion interne à allumage commandé. C'est un mélange d'hydrocarbures, auxquels sont parfois ajoutés d'autres produits combustibles ou adjuvants. On y trouve en moyenne [2] :

- 20 % à 30 % d'alcane, hydrocarbures saturés de formule C_nH_{2n+2} ;
- 5 % de cyclo alcane, hydrocarbures saturés cycliques ;
- 30 % à 45 % d'alcènes, hydrocarbures non saturés ;
- 30 % à 45 % d'hydrocarbures aromatiques, de la famille du benzène.

Ces produits sont, pour l'essentiel, issus de la distillation du pétrole [5]. En cas de pénurie de pétrole, il a aussi été fait appel à la distillation des schistes bitumineux, comme cela s'est pratiqué il y a quelques décennies dans l'exploitation de quelques mines.

a. Les caractéristiques de l'essence (17)

Essence (hydrocarbure)	
Identification	
N° CAS	86290-81-5
N° EINECS	289-220-8
Apparence	liquide mobile
Propriétés chimiques	
Formule brute	paraffines, cyclo paraffines, hydrocarbures oléfiniques et aromatiques. $>C_3$
Propriétés physiques	
T° fusion	< - 60 °C

T° ébullition	20 à 200 °C
Solubilité	100 à 250 mg·l ⁻¹ dans l'eau
Masse volumique	680 à 790 kg·m ⁻³ à (15 °C)
T° d'auto-inflammation	environ 250 °C
Point d'éclair	-40 °C
Limites d'explosivité dans l'air	1,3–7,1 %vol
Pression de vapeur saturante	350 à 900 hPa (37,8 °C)
Pouvoir calorifique Inferieure ou PCI	42 700 [KJ/kg]

Transport

33

1203

Code Kemler :

33 : matière liquide très inflammable (point d'éclair inférieur à 21 °C)

Numéro ONU :

1203 : ESSENCE

Classe : 3 (Liquides inflammables)

Emballage :

Groupe d'emballage II : matières moyennement dangereuses ;

b. Rôles particuliers des composants

Parmi les alcanes, deux jouent un rôle particulier : l'octane C_8H_{18} et l'heptane C_7H_{16} . En effet, ces deux alcanes possèdent des propriétés radicalement différentes du point de vue de leur tendance à l'auto-allumage.

Un mélange d'air et de vapeur d'iso-octane va difficilement s'enflammer spontanément, ce sera donc bien la bougie qui provoquera l'allumage et créera au moment prévu une déflagration, c'est-à-dire une flamme de pré-mélange qui se propage dans le mélange à une vitesse inférieure à la vitesse du son.

Au contraire, avec l'heptane, l'auto-allumage est facile : pour des taux de compression élevés, l'allumage aura lieu en volume dans le cylindre avant que la bougie ne fonctionne. Ce phénomène caractéristique des moteurs à allumage commandé s'appelle le cliquetis et provoque la formation d'ondes de choc dans le cylindre, d'où le bruit caractéristique. Dans le pire des cas, il peut y avoir création d'une détonation qui peut aller jusqu'à faire fondre le piston, le front de flamme se déplaçant plus vite que le son en se couplant à l'onde de choc. Il est donc assez courant, notamment dans la littérature anglo-saxonne, de parler improprement de détonation quand on parle en réalité seulement de cliquetis.

Remarque : En l'état actuel des technologies un *moteur à détonation* aurait une durée de vie très courte par rapport aux moteurs à combustion interne actuels. Le terme populaire de moteur à *explosion* est peu précis, car les déflagrations tout comme les détonations sont toutes les deux des explosions. Il vaudrait mieux employer le terme de moteur à combustion interne.

c. Indice d'octane (17)

Les tendances à l'auto-allumage des mélanges d'iso-octane (l'isomère de référence de l'octane) et d'heptane sont différentes. Elles servent de référence pour déterminer l'indice d'octane d'un carburant à tester. Si, par exemple, le taux de compression nécessaire à l'apparition du cliquetis d'un mélange d'air et de ce carburant dans un moteur de référence est le même que pour un mélange comportant 95 % d'iso-octane et 5 % d'heptane, alors on dit que ce carburant a un indice d'octane de 95. Naturellement, cette détermination doit se faire dans des conditions normalisées. On comprend par ailleurs que les mélanges composés exclusivement d'heptane et d'iso-octane auront tous des indices d'octane compris entre 0 et 100.

Des mélanges avec d'autres produits permettent néanmoins d'avoir des indices d'octane supérieur à 100, il faut alors les définir par extrapolation : certaines essences

de compétition, dites « essences aviation » atteignent environ 110. Pendant de très nombreuses années, on ajoutait à l'essence une certaine quantité de plomb tétraméthyle $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ ou mieux de plomb tétraéthyle $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ afin de diminuer la tendance à la détonation d'essences contenant un fort pourcentage d'heptane. C'était une manière d'augmenter artificiellement l'indice d'octane (on gagnait 10 points avec $1 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ de PTE) et de favoriser la lubrification des moteurs mais cela conduisait à disperser dans l'environnement de fortes quantités de plomb, métal dont on connaît la toxicité. Les essences comportant du plomb sont désormais interdites. On connaît d'autres solutions, pas forcément exemptes d'inconvénients, par exemple utiliser davantage d'hydrocarbures aromatiques (beaucoup plus toxiques que les alcanes), ajouter des alcools, etc.

Un carburant dont l'indice d'octane est trop faible a tendance à provoquer une combustion trop brutale, mais présente aussi une fâcheuse tendance à l'auto-inflammation lors de la compression dans les cylindres du moteur et au cliquetis. Plus le taux de compression du moteur est élevé, plus la température atteinte lors de la compression des gaz sont élevée et plus l'indice d'octane doit se rapprocher de 100. Comme on le sait par ailleurs, l'augmentation du taux de compression améliore, conformément aux lois de la thermodynamique, le rendement du moteur, en augmentant l'écart des températures de la source chaude et de la source froide. Un moteur conçu pour fonctionner avec un carburant ayant un certain indice d'octane peut sans problème être alimenté avec un autre carburant d'indice plus élevé, mais pas l'inverse.

Deux valeurs de l'indice d'octane existent [4]:

- l'indice d'octane « recherche » (**RON**, *Research Octane Number* ou *indice recherche*) Indice d'octane déterminé dans des conditions d'essais très éloignées de la réalité de fonctionnement des moteurs thermiques, caractérise le comportement d'un carburant à bas régime ou lors des accélérations ;
- l'indice d'octane « moteur » (**MON**, *Motor Octane Number*) indice d'octane plus sévère et plus juste car il est déterminé dans des conditions plus proche de la réalité de fonctionnement des moteurs. L'indice d'octane moteur est inférieur

d'environ 10 points à l'indice recherche et évalue la résistance d'un carburant au cliquetis à haut régime.

Trois différents types d'essences automobiles existent :

- le supercarburant sans plomb 95 ou SP95 (RON 95, MON 85) ;
- le supercarburant sans plomb 98 ou SP98 (RON 98, MON 87) ;
- le supercarburant sans plomb 95-E10 ou SP95-E10 (RON 95, MON 85).

Remarque : La commercialisation du supercarburant dit « Super 97 » (RON 97, MON 86) a pris fin au cours de l'année 2006. Depuis l'an 2000, il ne contenait plus de plomb mais du potassium (pour la protection des sièges de soupapes).

L'essence sans plomb 98 est plus détergente que l'essence sans plomb 95 et se révèle plus corrosive, en particulier pour les pièces en élastomères (caoutchoucs). Ces deux carburants contiennent de fortes quantités de composants aromatiques qui sont très toxiques. Il faut donc éviter d'en respirer les vapeurs et ne pas s'en servir comme agent de nettoyage ou de dégraissage.

I.1.2. Méthodes

I.1.2.1. Les grandeurs énergétiques

a. Consommation massique d'air théorique du moteur

$$Q_{ma} = \frac{N}{120} \cdot V \cdot \rho \quad (1.1)$$

Q_{ma} : consommation massique d'air théorique en [Kg/s]

N : vitesse de rotation du moteur en tr/min (5100 tr/mn régime de puissance maxi de notre moteur)

V : cylindrée totale du moteur en [m³]

ρ : masse volumique de l'air en [kg/m³]

$$Q_{ma} = \frac{5100}{120} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1$$

$$Q_{ma} = 85 \cdot 10^{-3} [Kg/s]$$

b. Consommation massique de carburant

$$R = \frac{Q_{ma}}{Q_{mc}} \quad (1.2)$$

Le « *rapport stoechiométrique* » R ici égale à 14 lorsque le moteur fonctionne avec un dosage de 1 gramme d'essence sur **14 g** [1] d'air

Q_{ma} : consommation massique d'air théorique en gramme/seconde

Q_{mc} : consommation massique de carburant en gramme/seconde

$$Q_{mc} = \frac{85}{14}$$

$$Q_{mc} = 6,07 \text{ [g/s]}$$

c. Puissance thermique théorique dégagée par la combustion

$$P_{th \text{ Comb}} = Q_{mc} \cdot PCI \quad (1.3)$$

$P_{th \text{ Comb}}$: Puissance théorique dégagée par la combustion en [KW]

Q_{mc} : Consommation massique de carburant en [Kg/s]

PCI : Pouvoir calorifique Inferieur du carburant (c'est l'énergie contenue dans le carburant), qui est de 42700 KJ/kg (cf. I.1.1.2) pour l'essence.

$$P_{th \text{ Comb}} = 6,07 \cdot 10^{-3} \times 42,7 \cdot 10^3$$

$$P_{th \text{ Comb}} = 259,25 \text{ [KW]}$$

Remarque: On peut aussi appeler cette la puissance théorique de combustion par puissance introduite ($P_{th \text{ Comb}} = P_{intro}$).

d. Rendement thermique du moteur

Comme dans le cycle réel, **10%** de la puissance dégagée par la combustion est transférée vers le **circuit de refroidissement**.

Et que **45%** est perdue dans les **gaz d'échappement** lors de l'ouverture de la soupape d'échappement.

Ces chiffres sont appelés : « optimisation moteur » égale à 55% données par le constructeur dans la fiche technique du moteur.

Donc on a: $[100\% - (55\%)] = 45\%$

$$P_i = 45\% \times P_{intro}$$

$$P_i = 45\% \times 259,25$$

$$P_i = 116,66 [KW]$$

(Puissance indiquée)

Alors le rendement thermique de notre moteur est :

$$\eta_{eff\ th} = \frac{P_i}{P_{intro}} \quad (1.4)$$

$$\eta_{eff} = \frac{116,66}{259,25}$$

$$\eta_{eff\ th} = 0,45$$

e. La puissance effective (réelle)

La puissance effective est la puissance récoltée sur le vilebrequin.

$$P_e = P_{me} \cdot \frac{V.N}{120} \quad (1.5)$$

Avec P_{me} : La pression moyenne effective d'un cycle est une pression supposée constante pendant la course de détente qui donnerait la même aire, donc le même travail que le cycle envisagé (donné par le constructeur cf. I.1.1.1).

$$P_e = 1,05 \cdot \frac{1,997.5100}{120}$$

$$P_e = 89,25 [KW]$$

f. La puissance de frottement

La puissance de frottement P_f est donc la différence entre la puissance indiquée et la puissance effective.

$$P_f = P_i - P_e \quad (1.6)$$

$$P_f = 116,66 - 89,25$$

$$P_f = 27,41 [KW]$$

g. Consommation spécifique

C'est la quantité de carburant en gramme que doit consommer le moteur pour produire une puissance de 1KW pendant une heure. Elle s'exprime en g / kW.h. Cette notion de **consommation spécifique (CSE)** permet donc de relier la consommation d'un moteur (en g/h) à sa puissance (en KW).

$$\eta_{eff} = \frac{3,6 \cdot 10^6}{CSE \cdot PCI} \quad (1.7)$$

D'où

$$CSE = \frac{3,6 \cdot 10^6}{\eta_{eff} \cdot PCI} \quad (1.8)$$

$$CSE = \frac{3,6 \cdot 10^6}{0,44 \cdot 42,7 \cdot 10^3}$$

$$CSE = 191,61 [g/KWh]$$

h. Couple du moteur

Par définition le couple moteur C c'est le rapport entre la puissance du moteur en question (en W) et sa vitesse angulaire (en rad/s).

$$C = \frac{P}{\Omega} \quad (1.9)$$

Avec :

$$\Omega = \frac{\pi \times N}{30} = \frac{\pi \times 5100 [tr/mn]}{30}$$

$$\Omega = 534,07 \text{ [rad/s]}$$

D'où :

$$C = \frac{89,25 \cdot 10^3}{534,07}$$

$$C = 167,11 \text{ [N/m]}$$

i. Résultats théoriques

Tableau 1: Tableau théorique des paramètres énergétiques [source : auteur]

	ESSENCE
Consommation massique d'air théorique (Q_{ma}) [Kg/s]	$85 \cdot 10^{-3}$
Consommation massique de carburant (Q_{mc}) [g/s]	6,07
Puissance thermique théorique dégagée par le carburant ($P_{th \text{ Comb}}$) [KW]	259,25
Puissance indiquée (P_i) [KW]	116,66
Puissance effective (réelle P_e) [KW]	89,25
Puissance de frottement (P_f) [KW]	27,41
Rendement thermique du moteur (η_{eff})	0,45
Consommation spécifique (CSE) [g/KWh]	191,61
Couple du moteur (C) [N/m]	167,11

I.1.2.2. Les grandeurs thermodynamiques

Sur ce volet, nous allons nous concentrer sur les effets thermodynamiques des carburants sur les différentes pièces de notre moteur.

Les paramètres du moteur sont les mêmes que celui du constructeur

Taux de compression $\varepsilon = 9,8$

Exposant adiabatique essence $\gamma = 1,36$ et éthanol $\gamma = 1,4$

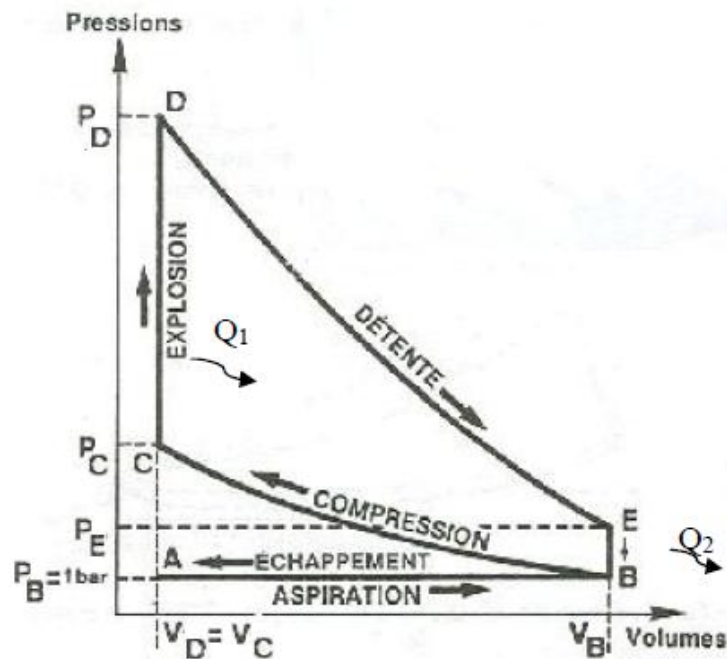


Figure 26: Cycle thermodynamique [9]

A → B : Admission des gaz carburés (air + carburant) ($m_a + m_c$).

$$V_B = 2000 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$T_B = 23 \text{ [}^\circ\text{C]} = 296 \text{ [}^\circ\text{K]} \text{ Température ambiante de la salle}$$

$$P_B = 1 \text{ [bar]}$$

B → C : Compression adiabatique du mélange. Fermeture de la soupape d'admission, puis remontée du piston qui comprime le mélange dans la chambre de combustion

$$\text{Comme } P \cdot V^\gamma = cte \Rightarrow P_B \cdot V_B^\gamma = P_C \cdot V_C^\gamma \quad (2.1)$$

Donc $\frac{P_C}{P_B} = \left(\frac{V_B}{V_C}\right)^\gamma$

Or

$$\frac{V_B}{V_C} = \varepsilon$$

On a $\frac{P_C}{P_B} = (\varepsilon)^\gamma$

$$P_C = (\varepsilon)^\gamma \cdot P_B \quad (2.2)$$

$$P_C = (9,8)^{1,36} \cdot 10$$

$$\boxed{P_C = 22,287 \text{ [bar]}}$$

Et

$$\frac{V_B}{\varepsilon} = V_C \quad (2.3)$$

$$V_C = \frac{V_B}{\varepsilon} = \frac{2000}{9,8}$$

$$\boxed{V_C = 204,08 \text{ [cm}^3\text{]}}$$

Et

$$\frac{T_C}{T_B} = \varepsilon^{\gamma-1} \quad (2.4)$$

$$T_C = \varepsilon^{\gamma-1} \cdot T_B = 9,8^{1,36-1} \cdot 296$$

$$\boxed{T_C = 611,78 \text{ [}^\circ\text{K]}}$$

C → D : Combustion à volume constant (explosion). Apport de chaleur par combustion de m_c en présence de l'oxygène de m_a .

$$P_{th\ Comb} = (Q_{mc} + Q_{ma}).C_V (T_D - T_C) = Q_{mc}. PCI$$

$$T_D = \frac{P_{th\ comb}}{(Q_{mc} + Q_{ma}).C_v} + T_C \quad (2.5)$$

Comme l'exposant adiabatique de l'essence est $\gamma = 1,36$

$$\text{Avec } C_P = 950 \left[\frac{J}{Kg} \cdot K \right]$$

Or

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} \Rightarrow C_V = \frac{C_P}{\gamma} \Rightarrow C_V = \frac{950}{1,36} = 698,53 \left[\frac{J}{K \cdot Kg} \right]$$

D'où

$$T_D = \frac{259,25 \cdot 10^5}{(6,07 + 85) \cdot 698,53} + 611,78$$

$$T_D = 1019,30 [K]$$

$$V_C = V_D = 204,08 [cm^3]$$

Comme on a une explosion isochore

$$\text{On a:} \quad \frac{P_D}{P_C} = \frac{T_D}{T_C} \quad (2.7)$$

$$\text{D'où : } P_D = \frac{T_D}{T_C} * P_C$$

$$P_D = \frac{1019,30}{611,78} * 222,87$$

$$P_D = 37,133 \text{ [bar]}$$

D → E : Détente adiabatique des gaz. (Temps moteur)

Les gaz chauds à très haute pression repoussent le piston, vers le point mort bas (PMB) initiant le mouvement :

$$\frac{T_D}{T_E} = \varepsilon^{\gamma-1} \quad (2.8)$$

$$\frac{T_D}{\varepsilon^{\gamma-1}} = T_E$$

$$T_E = \frac{1019,30}{9,8^{1,36-1}}$$

$$T_E = 447,06 \text{ [K]}$$

$$V_E = 2000 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$P_E = 1 \text{ [bar]}$$

a. Résultats théoriques

Tableau 2: Tableau théorique des paramètres thermodynamiques [source : auteur]

Paramètres thermodynamiques Niveaux du cycle	Volume [cm ³]	Température [K]	Pression [bar]
1	2000	296	1
2	204,08	611,78	22,287
3	204,08	1019,30	37,133
4	2000	447,06	1

I.1.3. Déroulement des essais

Parmi les multitudes paramètres pouvant caractériser les performances énergétiques du moteur, nous avons choisi par convenance de procéder aux essais sur moteur de la consommation spécifique effective. Le laboratoire moteur thermique a été le siège de toutes les opérations dont le déroulement s'est passé comme suit :

Soit les régimes (vérifié au tachymètre) suivants :

- Ralenti : 580 [tr/mn]
- Régime moteur : 980 [tr/mn]
- Régime moteur : 1480 [tr/mn]
- Régime moteur : 2980 [tr/mn]
- Régime moteur : 3980 [tr/mn]

Pour chaque régime nous avons répété 6 fois les opérations suivantes afin d'obtenir plus de précision des valeurs :

- Prendre 15cl d'essence
- Faire marcher le moteur au régime prévu
- Chronométrer le temps de consommation de l'essence pour chaque régime.

I.1.4. Résultats pratiques

Les résultats sont répertoriés dans le tableau ci-dessous

Tableau 3: Temps de consommation de 15cl d'essence [source : Auteur]

Durée [sec] Régime moteur [tr /mn]	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
580	243	241	240	244	246	246
980	146	142	144	143	148	144
1480	98	97	97	99	95	95
2980	58	56	58	58	57	58
3980	39	37	39	37	37	38

Après avoir converti la consommation en [g/h] nous avons pu avoir la puissance réelle et la consommation spécifique pour chaque régime. Et nous avons pu dresser le tableau et la courbe suivants :

Tableau 4: Tableau de variation de la consommation spécifique [source : Auteur]

Régime moteur [tr /mn]	Temps min [sec]	Consommation [g/h]	Consommation spécifique [g/kW.h]
580	240	1575,00	226,29
980	142	2661,97	226,36
1480	95	3978,94	224,04
2980	56	6750,00	188,76
3980	37	10216,21	213,91

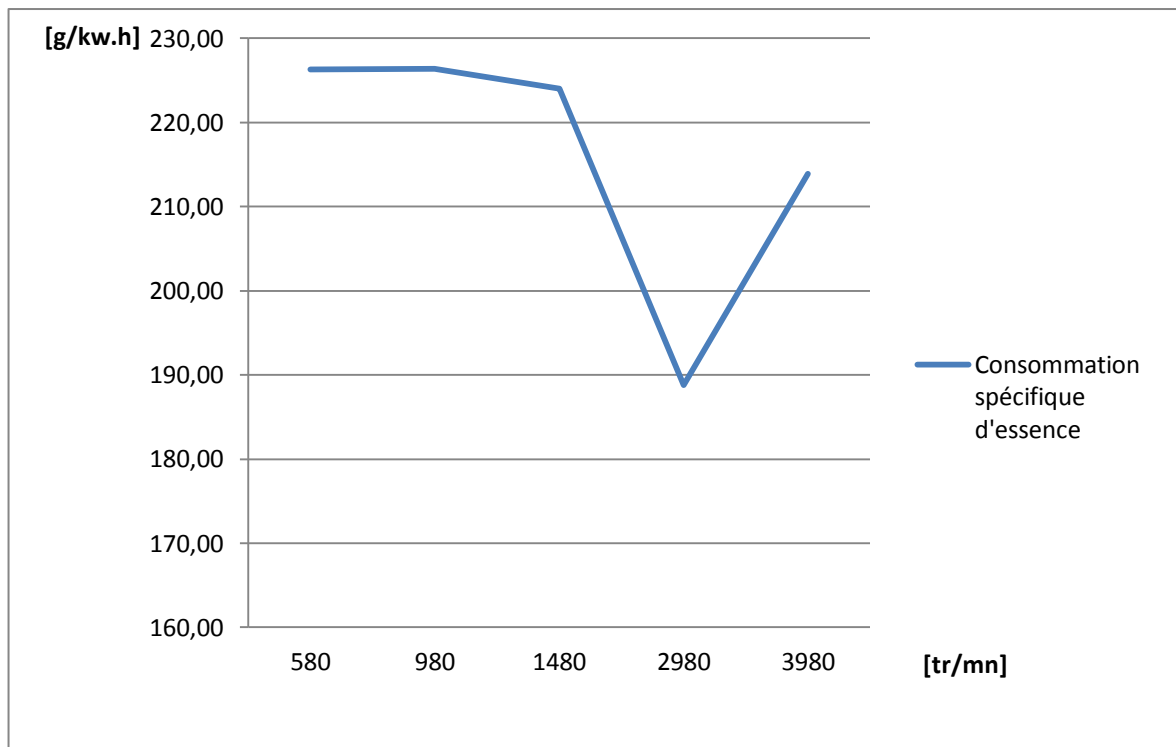


Figure 27: Courbe de variation de la consommation spécifique [source auteur]

I.2. Ethanol

I.2.1. Matériels

I.2.1.1. Information technique du moteur

Nous ferons les différents calculs sur le même moteur donc les caractéristiques sont identiques au précédent.

I.2.1.2. Information technique de l'éthanol

Etant donné que le pétrole est classé parmi les sources d'énergie non renouvelable, cela dit que son remplacement est devenu préoccupant dans l'usage des MCI. A cet effet, nous allons mettre l'éthanol à l'épreuve pour la recherche d'une solution énergétique plus adaptée.

Voici donc un choix qui sera mis à l'épreuve dans le cadre de la réduction des émissions polluantes et de la dépendance au pétrole des motorisations actuelles : **L'éthanol.**

a. Généralité

L'**éthanol**, ou **alcool éthylique**, est un alcool primaire de formule semi-développée $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$. C'est un liquide incolore, volatil, inflammable et miscible à l'eau en toutes proportions.

b. Fiche technique [12]

Éthanol	
Identification	
Nom IUPAC	Éthanol
Synonymes	alcool éthylique EtOH
Apparence	liquide incolore, d'odeur caractéristique.
Propriétés chimiques	
Formule brute	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$
Masse molaire	46,0684 ± 0,0023 g/mol C : 52,14 %, H : 13,13 %, O : 34,73 %
Propriétés physiques	
T° fusion	-114 à -117 °C
T° ébullition	79 °C
Solubilité	dans l'eau : miscible,

	Complète dans les solvants polaires et apolaires (acétone, éther diéthylique)
Paramètre de solubilité δ	26,0 MPa (25 °C)
T° d'auto-inflammation	423 à 425 °C 363 °C (selon les sources)
Point d'éclair	coupelle fermée : 13 °C pur 17 °C 95 %vol. 21 °C 70 %vol. 49 °C 10 %vol. 62 °C 5 %vol.
Limites d'explosivité dans l'air	Inférieure : 3,3 %vol Supérieure : 19 %vol
Pouvoir calorifique Inferieure ou PCI	41 600 [KJ/kg]

Classification :**F; R11****Symboles :****F : Facilement inflammable****Phrases R :****R11 : Facilement inflammable.****Phrases S :****S2 : Conserver hors de portée des enfants.****S7 : Conserver le récipient bien fermé.****S16 : Conserver à l'écart de toute flamme ou source d'étincelles - Ne pas fumer.****Phrases R : 11,****Phrases S : 2, 7, 16,**

Transport	
	33 1170
Code Kemler : 33 : matière liquide très inflammable (point d'éclair inférieur à 21 °C) Numéro ONU : 1170 : ALCOOL ÉTHYLIQUE contenant plus de 24 pour cent d'éthanol, par volume Classe : 3 Étiquette : 3 : Liquides inflammables Emballage : Groupe d'emballage II : matières moyennement dangereuses	
Danger H225, P210, H225 : Liquide et vapeurs très inflammables P210 : Tenir à l'écart de la chaleur/des étincelles/des flammes nues/des surfaces chaudes - Ne pas fumer.	

c. Formule

L'éthanol est un alcool primaire à deux carbones de formule brute $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ et de formule semi-développée $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ou $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, indiquant que le carbone du groupe méthyle ($\text{CH}_3\text{-}$) est attaché au groupement méthylène ($\text{-CH}_2\text{-}$) lui-même attaché au groupement hydroxyle (-OH). C'est un isomère de constitution de l'éther méthylique. L'éthanol est usuellement désigné par l'abréviation « EtOH », le groupement éthyle ($\text{C}_2\text{H}_5\text{-}$) étant communément abrégé « Et » en chimie organique.

d. Nom

Éthanol est le nom systématique défini par la nomenclature des composés organiques pour une molécule avec deux atomes de carbone (préfixe *éth-*) ayant une liaison simple entre eux (suffixe *-ane*) et attaché à un groupe hydroxyle (suffixe *-ol*).

e. Histoire [2]

La fermentation des sucres en éthanol est l'une des plus anciennes biotechnologies employée par l'homme et a été utilisée depuis la Préhistoire pour obtenir des boissons alcoolisées. Des analyses chimiques de composés organiques absorbés dans des jarres datant du Néolithique trouvées dans un village de la province du Henan en Chine, ont révélé que des mélanges de boissons fermentées composés de riz, de miel et de fruits étaient produits dès le VII^e millénaire av. J.-C.

Bien que la distillation soit une technique bien connue dès le début de la Grèce antique, les premières traces écrites de production d'alcool à partir du vin ne remontent qu'au XII^e siècle avec les travaux des alchimistes de l'école de médecine de Salerne. La première mention de la distinction entre alcool absolu et mélanges eau-alcool est rapportée elle au XIII^e siècle par Raymond Lulle.

En 1796, Johann Tobias Lowitz obtient de l'éthanol pur en filtrant sur du charbon actif de l'éthanol distillé. Antoine Lavoisier détermine que l'éthanol est composé de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, et en 1808, Nicolas Théodore de Saussure détermine sa formule brute. En 1858, Archibald Scott Couper publie la structure chimique de l'éthanol, qui est l'une des premières structures déterminées.

L'éthanol est pour la première fois préparé de façon synthétique en 1826 par les travaux indépendants de Georges Serullas en France et de Henry Hennel au Royaume-Uni. En 1828, Michael Faraday synthétise de l'éthanol par l'hydratation en catalyse acide de l'éthylène, une synthèse similaire au procédé industriel utilisé de nos jours.

L'éthanol a aussi été utilisé comme combustible dans les lampes, et comme carburant pour les automobiles jusque dans les années 1930. Par exemple, la Ford T pouvait fonctionner jusqu'en 1908 avec de l'éthanol pur.

f. Propriétés physico-chimiques

L'éthanol est un liquide volatil, incolore et qui a une odeur. Sa combustion est sans fumée et donne une flamme bleutée. Les propriétés physico-chimiques de l'éthanol proviennent principalement de la présence du groupement hydroxyle et de la courte chaîne carbonée. Le groupement hydroxyle peut former des liaisons hydrogène, rendant l'éthanol plus visqueux et moins volatil que des solvants organiques de masses moléculaires équivalentes. L'indice de réfraction de l'éthanol est légèrement plus élevé que l'eau (1,3594 à 25,0 [°C]). Le point triple de l'éthanol est observé à -123,15 [°C] pour une pression de $4,3 \times 10^{-4}$ [Pa] (14).

g. Production de l'éthanol [7]

➤ Principes de base

Tous les sucres en C_6 fermentescibles, principalement le glucose et le saccharose, peuvent être convertis en éthanol et en dioxyde de carbone après fermentation. Celle-ci est anaérobie et catalysée par une enzyme produite par une levure : *Saccharomyces Cerevisiae*.

Les équations des réactions de fermentation sont les suivantes [12] :



Glucose éthanol



Saccharose éthanol

Avec : Δ_H représentant l'enthalpie massique.

Remarque : Ces équations sont théoriques et leurs rendements sont appelés **rendements de Gay-Lussac**. Du fait de la fabrication inévitable de sous-produits divers et de levures, le **rendement de Pasteur**, égal à 94,7 % du rendement de Gay-Lussac, définit la production d'éthanol. 100 kg de sucre produisent respectivement 48,4 kg et 50,95 kg d'éthanol à partir de glucose ou de saccharose [6].

➤ Matières premières

Les sucres sont présents à l'état plus ou moins polymérisé dans le monde végétal. Les plantes dites *sucrières* ou *saccharifères* (betteraves à sucre, canne à sucre) produisent directement du saccharose et dans ce cas, le sucre fermentescible est extrait par diffusion. Les plantes amylacées telles les céréales produisent de l'amidon qu'il est nécessaire d'hydrolyser par des enzymes, les amylases. Les sucres obtenus sont alors un mélange de glucose et de maltose (2).

➤ Hydrolyse – fermentation

L'hydrolyse est appliquée industriellement à l'amidon des céréales avec deux procédés

- la **voie humide** : le grain est moulu et ses constituants (son, gluten, amidon...) sont séparés de façon classique pour le son et en partie par lavage. Seul l'amidon est traité au cours de l'hydrolyse enzymatique puis fermenté (3).
- la **voie sèche** : le grain est également moulu et la totalité de ses constituants subit l'hydrolyse enzymatique et la fermentation.

La fermentation traditionnelle des sucres en C₆ (hexoses) par la levure citée reste la voie industrielle de production de l'éthanol [14]. C'est le processus de culture de levures dans des conditions favorables pour produire de l'alcool, à une température d'environ 35 à 40 °C. Les souches de levures les plus résistantes peuvent survivre à une concentration d'environ 15 %vol d'éthanol. La toxicité de l'éthanol pour la levure limite la concentration d'alcool qui peut être obtenue par brassage, et des concentrations plus élevées peuvent être obtenues par mutage ou distillation (7). Lors de la fermentation, des produits secondaires sont formés, comme du glycérol, de l'acide succinique, de l'acide acétique et de l'alcool amylique.

➤ Séparation de l'éthanol

Le fractionnement du vin obtenu après l'étape de fermentation conduit à séparer l'éthanol du reste des constituants. La technologie appliquée comprend deux étapes : la distillation et la déshydratation (12).

- **La distillation usuelle** permet d'obtenir une concentration en éthanol de 96 % en masse, voisine de l'azéotrope (97,1 %).

Remarque : Une distillation des vins par une colonne à double effet nécessite 114 [kg de vapeur/hL] d'alcool pur et une consommation d'électricité de 2 [kWh/hL] d'alcool pur.

- **La déshydratation** conduit à l'éthanol anhydre (99,7 % minimum en masse) et elle est obtenue par au moins deux techniques :
 - *la distillation azéotropique* à la pression atmosphérique, en présence de cyclohexane (en général) comme solvant d'entraînement, accompagnée de recompression mécanique de vapeurs ;
 - *le tamisage moléculaire* qui consiste à adsorber et désorber l'eau sur un support tel des zéolites synthétiques.

h. L'éthanol-carburant

L'identification de l'éthanol comme biocarburant n'est bien évidemment pas le fruit d'un pur hasard. En effet, l'éthanol dispose de propriétés physiques et chimiques très intéressantes pour les moteurs à allumage commandé, même si quelques difficultés techniques subsistent.

➤ Les indices d'octane

L'éthanol a des indices d'octane qui lui confèrent un intérêt tout particulier. Incorporé à des taux de **5 à 10%** volume dans les essences, les indices de mélange de l'éthanol sont de l'ordre de **120-125** et **95-100** respectivement pour le RON et le MON. A hauteur de **5%** c'est un gain d'octane de l'ordre de **0.8 à 1.3** point qu'il est possible d'obtenir tant sur le RON que sur le MON. Il s'agit d'un avantage très important apportant une réelle valeur ajoutée à l'éthanol. Enfin, rappelons qu'à forte teneur, les indices d'octane élevés restent un atout majeur (13).

Tableau 5: Indice d'octane moteur (IOM) de l'essence avec différentes proportions d'éthanol (4)

Proportion d'éthanol en [%]	IOM	Variation de l'IOM due à l'éthanol
0	72,5	
5	74,8	2,3
10	76,6	1,8
15	78,5	1,9
20	80,3	1,8
25	81,4	1,1

➤ La volatilité

L'éthanol à une volatilité modérée et un point d'ébullition relativement élevé (78°C) en comparaison avec le point initial de distillation des essences. De plus, la pression de vapeur, calculée d'après la loi d'Antoine [1], est basse pour l'éthanol en comparaison avec les fractions légères des carburants

Toutefois, une propriété physique de l'éthanol doit être considérée : l'éthanol peut fortement interagir avec certains hydrocarbures légers, pour former des azéotropes (11). La principale caractéristique de ces azéotropes est d'avoir des températures d'ébullition, par conséquent des pressions de vapeur à une température donnée, radicalement différentes de celles de chacun de ses constituants. Dans le cas de l'éthanol et d'hydrocarbures légers, les azéotropes ont des points d'ébullition inférieurs aux deux points d'ébullition initiaux.

I.2.2. Méthodes

Avant tous calculs, il est important de souligner que pendant notre essai pratique au laboratoire on faisait fonctionner notre moteur avec une mélange de 15% d'éthanol et 90% d'essence en volume ou SP95E15 [4].

E15 : désigne le 15% d'éthanol en volume.

SP95 : désigne l'essence sans plomb 95 qu'on a employé.

I.2.2.1. Les grandeurs énergétiques

Comme on a le même moteur, nous utiliserons les mêmes formules que celles utilisées dans le paragraphe I.1.2.1.

a. Consommation massique d'air théorique du moteur

Donc on a :

$$Q_{ma} = 85.10^{-3} [Kg/s]$$

b. Consommation massique de carburant

Le « *rapport stœchiométrique* » du mélange essence-éthanol à 10% - 30% est de R est égale à 13,6

$$Q_{mc} = \frac{85}{13,6}$$

$$Q_{mc} = 6,25 [g/s]$$

c. Puissance thermique théorique dégagée par la combustion

Le PCI du mélange essence-éthanol est de 41600 KJ/kg (cf. I.2.1.2).

$$P_{th Comb} = 6,25 . 10^{-3} \times 41,6 . 10^3$$

$$P_{th Comb} = 260 [KW]$$

d. Rendement thermique du moteur

De même comme dans le cycle réel, **10%** de la puissance dégagée par la combustion est transférée vers le **circuit de refroidissement**.

Et que **45%** est perdue dans les **gaz d'échappement** lors de l'ouverture de la soupape d'échappement.

Ces chiffres sont appelés : « optimisation moteur » égale à 55% données par le constructeur dans le fiche technique du moteur.

Donc on a: $[100\% - (55\%)] = 45\%$

Donc

$$P_i = 117 [KW]$$

(puissance indiquée)

D'où le rendement thermique de notre moteur est :

$$\eta_{eff\ th} = \frac{117}{260}$$

$$\boxed{\eta_{eff} = 0,45}$$

e. La puissance effective (réelle)

$$\boxed{P_e = 89,25 \text{ [KW]}}$$

f. La puissance de frottement

La puissance de frottement P_f est donc la différence entre la puissance indiquée et la puissance effective.

$$P_f = 117 - 89,25$$

$$\boxed{P_f = 27,75 \text{ [KW]}}$$

g. Consommation spécifique

D'où

$$CSE = \frac{3,6 \cdot 10^6}{0,45 \cdot 41,6 \cdot 10^3}$$

$$\boxed{CSE = 192,30 \text{ [g/KWh]}}$$

h. Couple du moteur

$$\Omega = 534,07 \text{ [rad/s]}$$

D'où :

$$C = \frac{89,11 \cdot 10^3}{534,07}$$

$$C = 166,85 \text{ [N/m]}$$

i. Résultats théoriques

Tableau 6: Tableau théorique des paramètres énergétiques [source : auteur]

	MELANGE ETHANOL- ESSENCE
Consommation massique d'air théorique (Q_{ma}) [Kg/s]	85.10^{-3}
Consommation massique de carburant (Q_{mc}) [g/s]	6,25
Puissance thermique théorique dégagé par le carburant ($P_{th Comb}$) [KW]	260
Puissance indiquée (P_i) [KW]	117
Puissance effective (réelle P_e) [KW]	89,25
Puissance de frottement (P_f) [KW]	27,75
Rendement thermique du moteur (η_{eff})	0,45
Consommation spécifique (CSE) [g/KWh]	192,30
Couple du moteur (C) [N/m]	166,85

I.2.2.2. Les grandeurs thermodynamiques

A → B : Admission des gaz carburés (air + carburant) ($m_a + m_c$).

$$V_B = 2000 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$T_B = 23 \text{ [}^\circ\text{C]} = 296 \text{ [}^\circ\text{K]} \text{ Température ambiante de la salle}$$

$$P_B = 1 \text{ [bar]}$$

B → C : Compression adiabatique du mélange. Fermeture de la soupape d'admission, puis remontée du piston qui comprime le mélange dans la chambre de combustion

$$P_C = (9,8)^{1,4} \cdot 10$$

$$\boxed{P_C = 24,42 \text{ [bar]}}$$

$$V_C = \frac{2000}{9,8}$$

$$\boxed{V_C = 204,08 \text{ [cm}^3\text{]}}$$

$$T_C = 9,8^{1,4-1} \cdot 296$$

$$\boxed{T_C = 737,53 \text{ [}^\circ\text{K]}}$$

C → D : Combustion à volume constant (explosion). Apport de chaleur par combustion de m_c en présence de l'oxygène de m_a .

Comme l'exposant adiabatique de l'éthanol est $\gamma = 1,4$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} \Rightarrow C_V = \frac{C_P}{\gamma} \quad (2.9)$$

$$\Rightarrow C_V = \frac{950}{1,4} = 678,57 \left[\frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{Kg}} \right]$$

D'où :

$$T_D = \frac{260 \cdot 10^5}{(6,25 + 85) \cdot 678,57} + 737,53$$

$$\boxed{T_D = 1157,43 \text{ [K]}}$$

$$\boxed{V_C = V_D = 204,08 \text{ [cm}^3\text{]}}$$

Comme on a une explosion isochore

$$P_D = \frac{1157,43}{737,53} * 24,42$$

$$P_D = 38,32 [bar]$$

D → E : Détente adiabatique des gaz. (Temps moteur)

Les gaz chauds à très haute pression repoussent le piston, vers le point mort bas (PMB) initiant le mouvement :

$$T_E = \frac{1157,43}{9,8^{1,4-1}}$$

$$T_E = 464,69 [K]$$

$$V_E = 2000 [Cm^3]$$

$$P_E = 1 [bar]$$

a. Résultats théoriques

Tableau 7: Tableau théorique des paramètres thermodynamiques [source : auteur]

Paramètres thermodynamiques Niveaux du cycle	Volume [cm ³]	Température [K]	Pression [bar]
1	2000	296	1
2	204,08	737,53	24,42
3	204,08	1157,43	38,32
4	2000	464,69	1

I.2.3. Déroulement des essais

Afin de vérifier les résultats obtenus lors des calculs précédents, nous avons effectué des essais sur notre moteur dont le déroulement s'est passé comme suit :

Soit les régimes (vérifier au tachymètre) suivants :

- Ralenti : 580 [tr/mn]

- Régime moteur : 980 [tr/mn]
- Régime moteur : 1480 [tr/mn]
- Régime moteur : 2980 [tr/mn]
- Régime moteur : 3980 [tr/mn]

Pour chaque régime nous avons répété 6 fois les opérations suivantes afin d'obtenir une plus de précision des valeurs :

- Préparer un mélange essence-éthanol de $V=15\text{cl}$ dont 2,25cl d'éthanol et 12,75cl d'essence sans plomb 95
- Faire marcher le moteur au régime prévu
- Chronométrer le temps de consommation du carburant pour chaque régime.

I.2.4. Résultats pratiques

Les résultats sont répertoriés dans le tableau ci-dessous

Tableau 8: Temps de consommation [sec] de 15cl de mélange essence-éthanol
[source : auteur]

Durée [sec] Régime moteur [tr /mn]	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
580	236	235	233	237	239	239
980	139	135	137	136	141	137
1480	91	90	90	92	88	88
2980	51	49	51	51	50	51
3980	32	30	32	30	30	31

Après avoir converti la consommation en [g/h] nous avons pu avoir la puissance réelle et la consommation spécifique pour chaque régime. Et nous avons pu dresser le tableau et la courbe suivants :

Tableau 9: Tableau de variation de la consommation spécifique effective
[source : auteur]

Régime moteur [tr /mn]	Temps min [sec]	Consommation [g/h]	Consommation spécifique [g/kW.h]
580	233	1622,32	233,09
980	135	2800,00	238,10
1480	88	4295,45	241,86
2980	50	7560,00	211,41
3980	30	12600,00	263,82

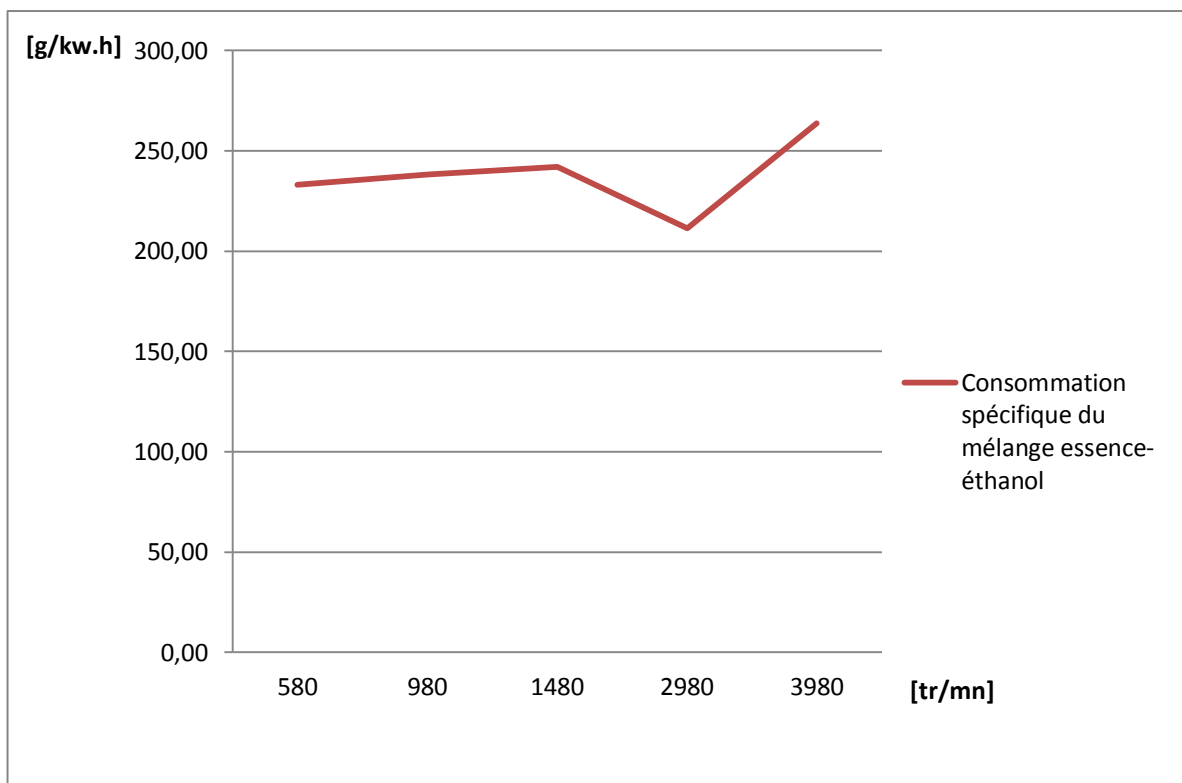


Figure 28: Courbe de variation de la consommation spécifique [source : auteur]

I.3. Tableaux comparatifs

I.3.1. Grandeurs physico-chimiques

Tableau 10: Les propriétés physiques de l'éthanol et de l'essence (17)

	ETHANOL	ESSENCE (standard)
Masse Moléculaire [g/mol]	46,07	102,5
C [% poids]	52,2	86,5
H [% poids]	13,1	13,5
O [%poids]	34,7	0
Masse volumique [kg/m ³]	794	735 – 760
Chaleur latente de vaporisation [kJ/kg]	854	289
Point d'ébullition [°c]	78,4	30 – 190
Pouvoir calorifique inférieur massique [kJ/kg]	26805	42690
Pouvoir calorifique inférieur volumique [kJ/l]	21285	32020
Rapport stœchiométrique	8,95	14,5
RON	111	95
MON	92	85

I.3.2. Grandeurs énergétiques

Tableau 11: Les propriétés énergétiques de l'essence et du mélange [source : auteur]

	UNITE	ESSENCE	MELANGE ETHANOL- ESSENCE
Consommation massique d'air théorique (Q_{ma})	[Kg/s]	85.10^{-3}	85.10^{-3}
Consommation massique de carburant (Q_{mc})	[g/s]	6,07	6,25
Puissance thermique théorique dégagé par le	[KW]	259, 25	260

carburant ($P_{th\ Comb}$)			
Puissance indiquée (P_i)	[KW]	116,66	117
Puissance effective (réelle P_e)	[KW]	89,25	89,25
Puissance de frottement (P_f)	[KW]	27,41	27,75
Rendement thermique du moteur (η_{eff})	—	0,45	0,45
Consommation spécifique (CSE)	[g/KWh]	191,61	192,30
Couple du moteur (C)	[N/m]	167,11	166,85

I.3.3. Grandeurs thermodynamiques

Tableau 12: Les grandeurs thermodynamique de l'essence et du mélange

[source : auteur]

Étape		A → B (1)	B → C (2)	C → D (3)	D → E (4)
Essence	Température [K]	296	611,78	1019,30	447,06
	Volume [Cm ³]	2000	204,08	204,08	2000
	Pression [bar]	1	22,28	37,13	1
Ethanol	Température [K]	296	737,53	1157,43	464,69
	Volume [cm ³]	2000	204,08	204,08	2000
	Pression [bar]	1	24,42	38,32	1

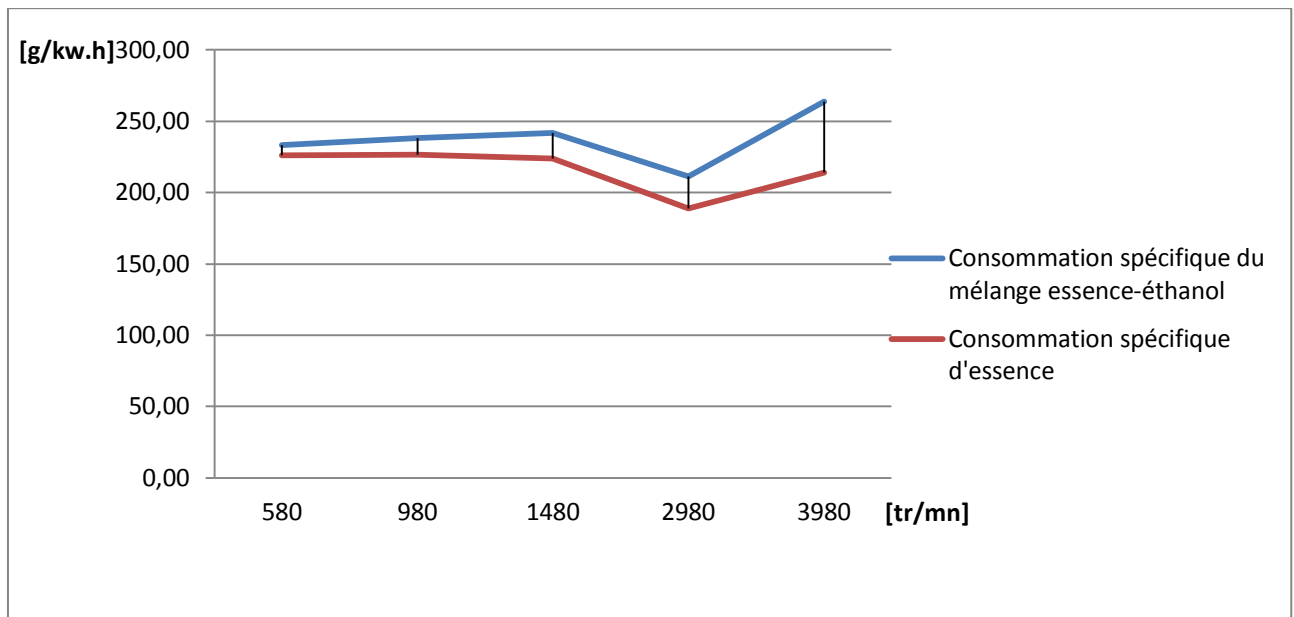


Figure 29: Courbe comparative [source : auteur]

Chapitre II. BILAN TECHNOLOGIQUE

II.1. Adaptation du carburant au moteur

II.1.1. Matériels

II.1.1.1. Information technique du moteur

Nous ferons les différents essais sur le même moteur dont les caractéristiques sont déjà mentionnées dans le chapitre précédent. (cf. I.1.1.1)

II.1.1.2. Information technique du carburant

Pour réaliser les différents essais nous avons besoin d'essence sans plomb 95 et d'éthanol > 90% de volume dont les caractéristiques sont citées dans le précédent chapitre. Ces deux combustibles sont mélangés à différentes proportions afin de trouver le carburant idéal pour notre moteur.

II.1.2. Méthodes

Avant d'effectuer les multiples essais, il est important de souligner que pendant notre essai pratique au laboratoire nous avons fait fonctionner notre moteur avec une mélange de 15% d'éthanol et 85% d'essence en volume ou **SP95E15** (dénomination

internationale) et nous avons fait une augmentation progressive jusqu'à la limite du moteur c'est-à-dire jusqu'à une certaine proportion où le moteur pourra fonctionner.

E15 : désigne le 15% d'éthanol en volume.

SP95 : désigne l'essence sans plomb 95 que nous avons employé.

II.1.3. Déroulement des essais

Pour avoir la parfaite combinaison éthanol-essence, nous avons effectué des essais sur notre moteur dans le laboratoire moteur thermique dont le déroulement s'est passé comme suit :

Soient les proportions suivantes :

- SP95E15
- SP95E20
- SP95E25
- SP95E30
- SP95E35

Pour chaque proportion nous avons répété 2 fois les opérations suivantes afin d'obtenir plus de précision sur les valeurs :

- Préparer un mélange essence-éthanol de 15cl de volume
- Faire marcher le moteur
- Collecter les résultats

II.1.4. Résultats

II.1.4.1. SP95E15

Avec ce carburant notre moteur:

- ne signale aucune anomalie,
- les différents constituants du moteur réagissent normalement.
- consommation : 15 cl en 236 [sec] (temps moyen)

II.1.4.2. SP95E20

Avec ce carburant notre moteur:

- ne présente aussi aucune anomalie ;

- les différents constituants du moteur réagissent normalement ;
- présente des traces de buées sur le rebord de l'échappement
- Consommation : 15 cl en 234 [sec] (temps moyen)

II.1.4.3. SP95E25

Avec ce carburant notre moteur:

- Montre un signe de ratage ;
- présente des traces des petites gouttelettes d'eau sur le rebord de l'échappement ;
- les différents constituants du moteur réagissent assez bien (présence de petite explosion au niveau du carburateur au démarrage) ;
- Consommation : 15 cl en 230 [sec] (temps moyen).

II.1.4.4. SP95E30

Avec ce carburant notre moteur:

- Montre un signe de ratage ;
- A du mal à démarrer ;
- présente des traces des petites gouttelettes d'eau sur le rebord de l'échappement

II.1.4.5. SP95E30 corrigé

Dans l'expérience précédente nous avons remarqué que le moteur ne fonctionne plus très bien avec un mélange de 30% en alcool à 90°GL, nous avons eu recours à de l'alcool rectifié à 98°GL. Nous avons alors remarqué que:

- Malgré un petit ratage le moteur n'est cependant pas difficile à démarrer ;
- présente des traces de buées sur le rebord de l'échappement
- Consommation : 15 cl en 228 [sec] (temps moyen).

II.1.4.6. SP95E35 corrigé

Avec ce carburant notre moteur:

- Montre un signe de ratage ;
- A du mal à démarrer.

Chapitre III. BILAN ECOLOGIQUE

III.1. Essence

III.1.1. Matériels

III.1.1.1. Information technique du moteur

Nous ferons les différents essais sur le même moteur dont les caractéristiques sont identiques au précédent (cf. I.1.1.1).

III.1.1.2. Information technique du carburant

Nous ferons les différents essais avec la même essence dont les caractéristiques sont déjà citées précédemment. (cf. I.1.1.2).

III.1.1.3. Information technique de l'analyseur de gaz

Nom : **SOURIAU 4040**

La plage de CO est de 0 à 10% vol

La plage de CO₂ est de 0 à 20% vol

La plage du résidu HC est de 0 à 10000 ppm (particule par million)

La plage de λ est de 0,8 à 1,3



Figure 30: L'analyseur de gaz SOURIAU 4040 [source : auteur]

III.1.2. Méthodes et déroulements des essais

Avant d'effectuer les multiples essais, il est important de noter que nous avons rendu fonctionnel l'analyseur de gaz pour cela il a fallu :

- Changer tous les filtres ;
- Nettoyer les tuyaux et les conduits d'air en les soufflant à haute pression ;
- Vérifier les raccords ;
- Vérifier l'étanchéité des tuyaux ;
- Vérifier les circuits de gaz.

Après toutes ces opérations, nous avons chauffé la machine pendant 10mn.

- Tester l'étanchéité
- Tester les résidus HC

Lorsque tous ces tests sont effectués :

- Mettre du carburant (essence) dans le réservoir
- Mettre en marche le moteur
- Insérer la sonde de gaz dans le pot d'échappement et la sonde de température dans le carter d'huile (60°C – 80°C) et attendre les instructions.
- Effectuer le test des gaz.

III.1.3. Résultats

Après la réalisation du test nous avons pu retirer le ticket contenant le résultat

SAGEM OPTIMA 4040 ANALYSEUR DE GAZ		
Date	: Jeudi 6/03/14	
Heure	: 15:05	
Type du véhicule	:	
Immatriculation	:	
Kilométrage	:	
REGIME DE RALENTI		
CO	CO corr.	LAMBDA
0,14 %vol	0,24 %vol	—, —
Valeur limite CO: 3,50 %vol		
CO2	HC	O2
8,6 %vol	190 ppm vol	—, — %vol
Cachet de l'établissement		

Le ticket ci-dessus démontre les résultats obtenus lors de l'essai à régime ralenti (600 tr/mn) avec l'essence comme carburant.

III.2. Ethanol

III.2.1. Matériels

III.2.1.1. Information technique du moteur

Nous ferons les différents essais sur le même moteur dont les caractéristiques sont identiques au précédent (cf. I.1.1.1).

III.2.1.2. Information technique du carburant

Nous ferons les différents essais avec le mélange d'essence-éthanol à différente proportion (SP95E15, SP95E20, SP95E25, SP95E30 corrigé).

III.2.1.3. Information technique de l'analyseur de gaz

Nous ferons les différents essais sur le même analyseur dont les caractéristiques sont identiques au précédent (cf. III.1.1.3).

III.2.2. Méthodes et déroulements des essais

L'expérience se déroule comme suit :

- Mettre du carburant (mélange essence-éthanol) dans le réservoir
- Mettre en marche le moteur
- Insérer la sonde de gaz dans le pot d'échappement et la sonde de température dans le carter d'huile (60°C – 80°C) et attendre les instructions.
- Effectuer le test des gaz.

III.2.3. Résultats

Après la réalisation du test nous avons pu retirer le ticket contenant les résultats

III.2.3.1. SP95E15

```

=====
              SAGEM
          OPTIMA 4040
        ANALYSEUR DE GAZ
=====
Date           : Jeudi 6/03/14
Heure          : 15:05
-----
Type du véhicule : .....
Immatriculation : .....
Kilométrage    : .....
-----
REGIME DE RALENTI
CO              COcorr.    LAMBDA
0,14 %vol      0,24 %vol    --
Valeur limite CO: 3,50 %vol
CO2            HC          O2
8,6 %vol      190 ppm vol   -- %vol
-----
[ Cachet de l'établissement ]
  
```

ESSENCE SP95

```

=====
              SAGEM
          OPTIMA 4040
        ANALYSEUR DE GAZ
=====
Date           : Jeudi 6/03/14
Heure          : 16:03
-----
Type du véhicule : .....
Immatriculation : .....
Kilométrage    : .....
-----
REGIME DE RALENTI
CO              COcorr.    LAMBDA
0,13 %vol      0,24 %vol    --
Valeur limite CO: 3,50 %vol
CO2            HC          O2
7,8 %vol      291 ppm vol   -- %vol
-----
[ Cachet de l'établissement ]
  
```

SP95E15

III.2.3.2. SP95E20

=====

SAGEM
OPTIMA 4040
ANALYSEUR DE GAZ

=====

Date : Jeudi 6/03/14
Heure : 15:08

Type du véhicule :
Immatriculation :
Kilométrage :

REGIME DE RALENTI

CO	COcorr.	LAMBDA
0.13 %vol	0.23 %vol	—

Valeur limite CO: 3.50 %vol

CO2	HC	O2
8.3 %vol	318 ppm vol	— %vol

Cachet de l'établissement

=====

SAGEM
OPTIMA 4040
ANALYSEUR DE GAZ

=====

Date : Jeudi 6/03/14
Heure : 15:06

Type du véhicule :
Immatriculation :
Kilométrage :

REGIME DE RALENTI

CO	COcorr.	LAMBDA
0.14 %vol	0.26 %vol	—

Valeur limite CO: 3.50 %vol

CO2	HC	O2
7.6 %vol	482 ppm vol	— %vol

Cachet de l'établissement

ESSENCE SP95

SP95E20

III.2.3.3. SP95E25

=====

SAGEM
OPTIMA 4040
ANALYSEUR DE GAZ

=====

Date : Jeudi 6/03/14
Heure : 10:42

Type du véhicule :
Immatriculation :
Kilométrage :

REGIME DE RALENTI

CO	COcorr.	LAMBDA
0.13 %vol	0.24 %vol	—

Valeur limite CO: 3.50 %vol

CO2	HC	O2
8.0 %vol	265 ppm vol	— %vol

Cachet de l'établissement

=====

SAGEM
OPTIMA 4040
ANALYSEUR DE GAZ

=====

Date : Jeudi 6/03/14
Heure : 10:38

Type du véhicule :
Immatriculation :
Kilométrage :

REGIME DE RALENTI

CO	COcorr.	LAMBDA
0.14 %vol	0.28 %vol	—

Valeur limite CO: 3.50 %vol

CO2	HC	O2
7.4 %vol	308 ppm vol	— %vol

Cachet de l'établissement

ESSENCE SP95

SP95E25

III.2.3.4. SP95E30 corrigé

```

=====
              SAGEM
      OPTIMA 4040
      ANALYSEUR DE GAZ
=====
Date           : Jeudi 6/03/14
Heure          : 15:15
-----
Type du véhicule : .....
Immatriculation : .....
Kilométrage    : .....
-----
REGIME DE RALENTI
CO      COcorr.   LAMBDA
0.16 %vol  0.30 %vol  --
Valeur limite CO:  3.50 %vol
CO2      HC      O2
7.8 %vol  471 ppm vol  -- %vol
-----
[ Cachet de l'établissement ]

```

```

=====
              SAGEM
      OPTIMA 4040
      ANALYSEUR DE GAZ
=====
Date           : Jeudi 6/03/14
Heure          : 15:17
-----
Type du véhicule : .....
Immatriculation : .....
Kilométrage    : .....
-----
REGIME DE RALENTI
CO      COcorr.   LAMBDA
0.15 %vol  0.31 %vol  --
Valeur limite CO:  3.50 %vol
CO2      HC      O2
7.0 %vol  692 ppm vol  -- %vol
-----
[ Cachet de l'établissement ]

```

ESSENCE SP95

SP95E30 CORRIGE

III.2.4. Tableaux comparatifs

Tableau 13: Les valeurs obtenues lors de l'utilisation de SP95 [Source : Auteur]

	1	2	3	4	MOYENNE
CO	0,14	0,13	0,13	0,16	0,14
CO corr.	0,24	0,23	0,24	0,3	0,25
CO2	8,6	8,3	8	7,8	8,18
HC	190	318	265	471	311,00

Tableau 14: Tableau récapitulatif des résultats des essais [Source : Auteur]

Types de carburant	CO	CO corr.	CO ₂	HC
SP95	0,14	0,25	8,20	311
SP95E15	0,13	0,24	7,80	291
SP95E20	0,14	0,26	7,60	482
SP95E25	0,14	0,28	7,40	308
SP95E30	0,15	0,31	7,00	692

Et pour obtenir la valeur de λ on a recours à la formule de Brettshneider :

$$\lambda = \frac{CO_2 + CO + O_2 + \left[K_1 * \left(\frac{3,5}{\frac{CO}{CO_2} + 3,5} \right) - K_2 \right] (CO_2 * CO)}{[1 + K_1 + K_2] [CO_2 + CO + (K_3 * HC)]} \quad (3.1)$$

Avec :

$$K_1 = 0,431525$$

$$K_2 = 0,0088$$

$$K_3 = 6$$

$$O_2 = 0,9$$

Et on a pu avoir les résultats comparatifs de λ suivant :

Tableau 15: Les valeurs de λ pour chaque type de carburant [source : auteur]

	λ
SP95	0,810
SP95E15	0,812
SP95E20	0,806
SP95E25	0,821
SP95E30	0,805

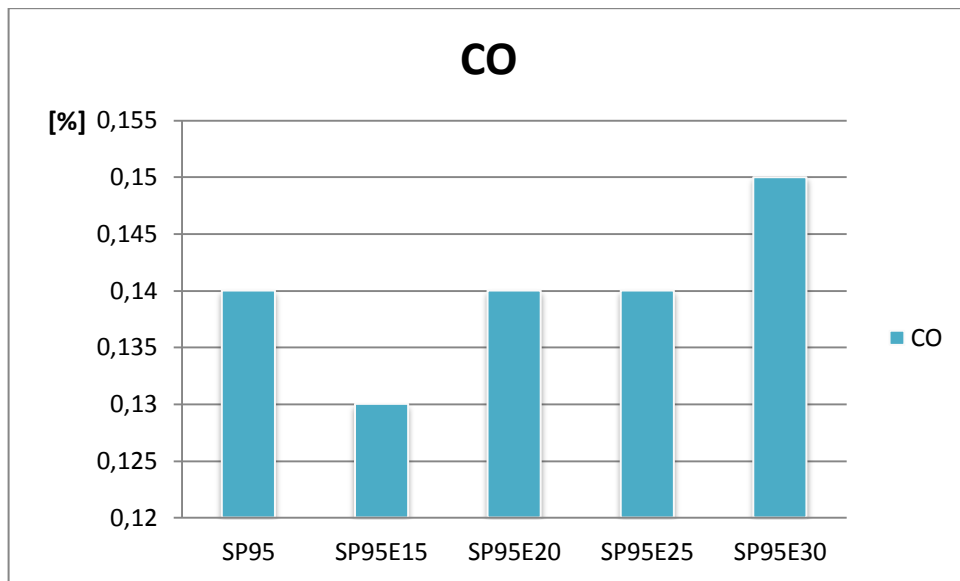


Figure 31: Taux de monoxyde de carbone [source : auteur]

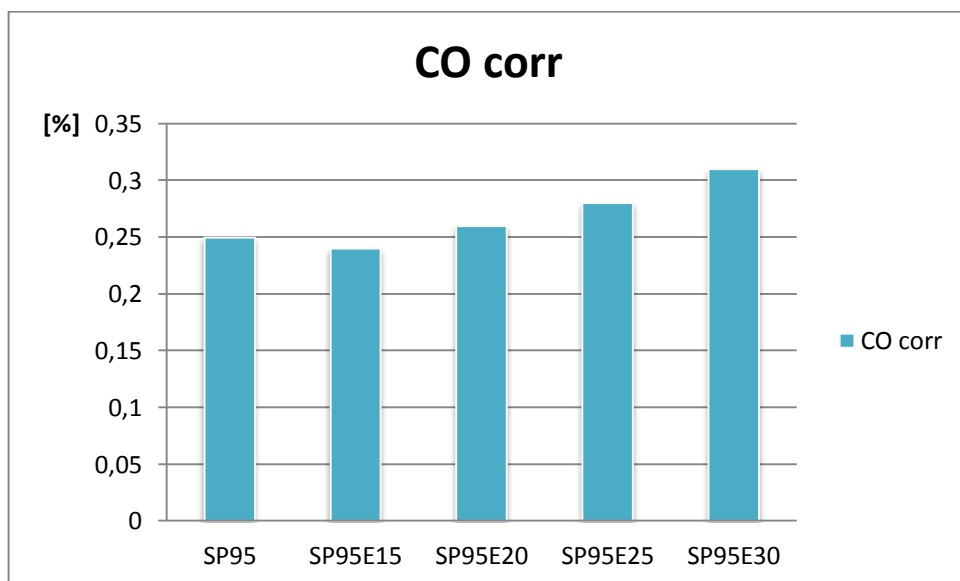


Figure 32: Taux de monoxyde de carbone corr. [source : auteur]

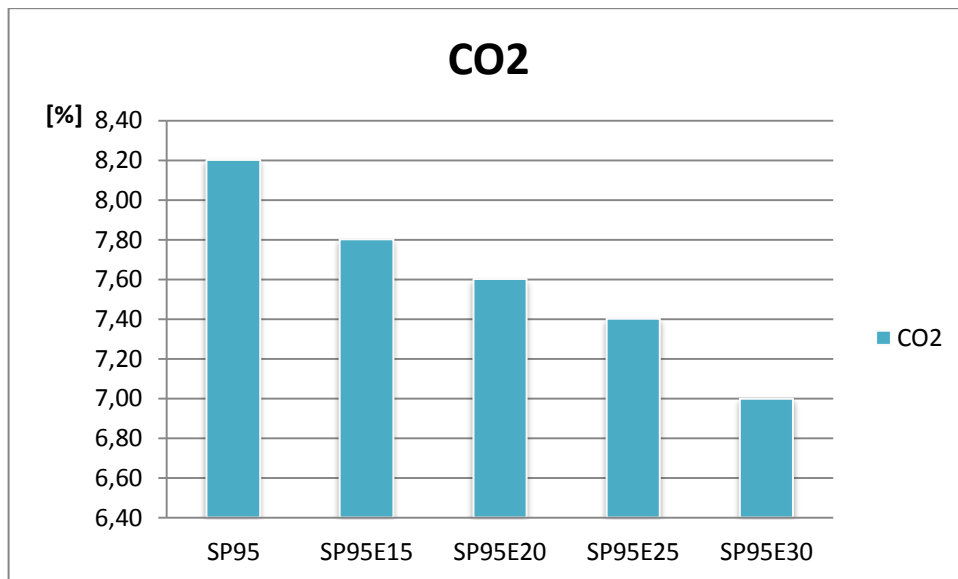


Figure 33: Taux de dioxyde de carbone [source : auteur]

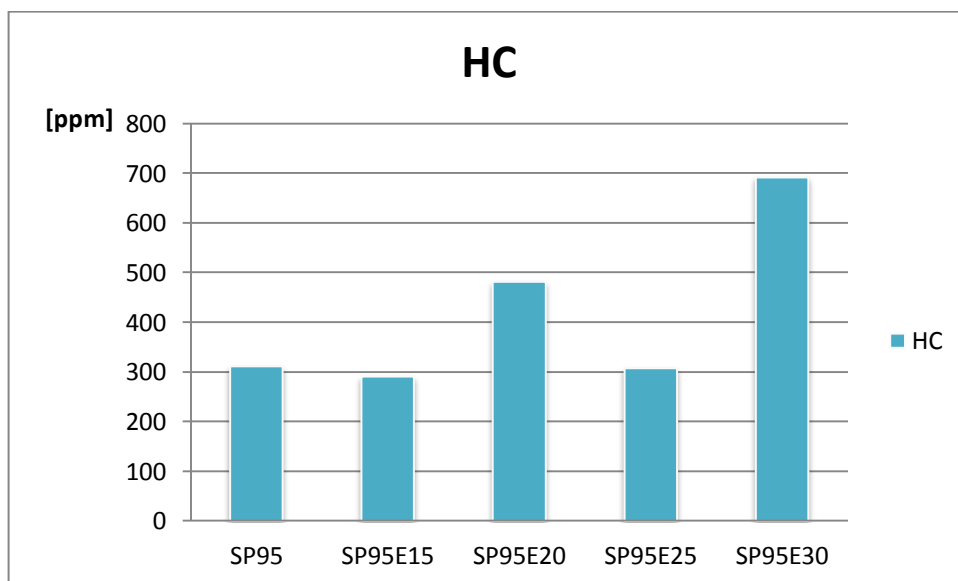


Figure 34: Taux de HC [source : auteur]

Partie III. DISCUSSIONS ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS

Chapitre I. DISCUSSIONS ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS DU BILAN ENERGETIQUE

I.1. Interprétations

Il faut signaler que le dessus remporté par l'essence en terme de consommation n'est pas si impressionnant par rapport à la performance développée par l'éthanol. Si on fait également référence au tableau suivant :

Tableau 16: Tableau comparatif de la variation de la consommation et la variation de la puissance effective [source : auteur]

Type de carburant	Régime moteur [tr /mn]	Consommation [g/h]	Consommation spécifique [g/kW.h]	Puissance Réelle [kW]
ESSENCE SP95	580	1575,00	226,29	6,96
	980	2661,97	226,36	11,76
	1480	3978,94	224,04	17,76
	2980	6750,00	188,76	35,76
	3980	10216,21	213,91	47,76
SP95E15	580	1622,32	233,09	6,96
	980	2800,00	238,10	11,76
	1480	4295,45	241,86	17,76
	2980	7560,00	211,41	35,76
	3980	12600,00	263,82	47,76

On constate que l'essence et l'éthanol maintiennent le même rythme pour l'évolution de la puissance. Cela signifie que la substitution de l'éthanol à l'endroit de l'essence est plus affirmative.

Dans le tableau 4 (tableau récapitulatif) on constate des propriétés très étonnantes de l'éthanol par rapport à l'essence : pour une même quantité de carburant, l'éthanol offre lors de l'allumage une quantité de chaleur très impressionnante. Cette quantité de chaleur peut aller jusqu'au plus du 7/6 de la quantité de chaleur procurée par l'essence standard. Par conséquent, la pression engendrée par l'explosion est palpable, d'où un couple plus satisfaisant que celle du carburant fossile. De plus, lors

de l'évacuation des gaz brûlés la différence de température et de pression, entre l'utilisation de l'essence et du mélange éthanol est assez élevée. Cela veut dire qu'il y a une brusque chute de température lors de l'échappement. Cela peut être très fatal pour un moteur à explosion commandé. On constate donc que l'ajout de l'éthanol dans des carburants standard est très délicat voire même très dangereux si on ne fait pas attention à ces propriétés. C'est à cause de ces propriétés thermodynamiques qu'on a pu prendre la décision d'employer un mélange d'éthanol-essence pour substituer l'essence standard. Donc, pour notre nouveau carburant on a pu constater que les propriétés énergétiques sont similaires à celle de l'essence standard. De plus, on n'a pas besoin de modifier le moteur (modification des pièces) jusqu'à une certaine proportion. Et que certains problèmes conventionnels dus à l'utilisation de l'essence standard sont résolus.

I.1.1. Les effets de l'éthanol [11]

En appui à ces arguments, voici quelques dires illustrant les effets de l'éthanol sur les différentes performances du moteur à explosion.

I.1.1.1. Effets sur le rendement du moteur

L'ajout d'éthanol dans l'essence confère à ce dernier des propriétés intéressantes. La présence de l'éthanol relève l'indice d'octane et permet également une meilleure combustion du fait de la présence de molécules d'oxygène.

I.1.1.2. Effet sur l'indice d'octane

L'indice d'octane est la capacité d'un carburant de fournir de l'énergie au moteur sans toutefois générer de cognement ou encore de cliquetis. Cet indice est un indice d'efficacité des carburants. Les hydrocarbures usuels ne sont pas très performants compte tenu du fait qu'il détonne avant que le piston n'est complété sa course. En d'autre terme, il est l'indice d'efficacité d'une essence (9). Ainsi, l'ajout d'éthanol à l'essence permet de relever l'indice d'octane du carburant et assurer de ce fait un meilleur rendement du moteur.

I.1.1.3. Effet sur la volatilité des carburants

« La volatilité est une caractéristique extrêmement importante de l'essence qui influe sur de nombreux paramètres du rendement du moteur » (9). Le comportement du carburant varie en fonction des saisons. En effet, des problèmes de démarrage peuvent

subvenir en période hivernale par manque de volatilité du carburant et par opposition, un carburant trop volatil en été aurait pour conséquence un rendement inférieur du moteur parce que le carburant n'arrive pas en quantité suffisamment importante. L'ajout de l'éthanol dans le carburant confère à ce dernier une volatilité constante assurant de ce fait un meilleur rendement du moteur.

I.1.1.4. Effet sur la consommation de carburant

Il est entendu que l'apport d'oxygène à travers la molécule d'éthanol améliore considérablement la combustion du carburant. En matière de consommation, les moteurs alimentés par un mélange éthanol-essence sont plus gourmands du fait de leur faible pouvoir calorifique par rapport à celui conféré par l'essence pure. La consommation est 2 % voire 3 % supérieure dans le cas des moteurs alimentés au mélange éthanol-essence (4).

I.1.1.5. Effet sur la solubilité de l'eau et la démixtion

Une essence contaminée fait référence à la présence d'une phase aqueuse dans le réservoir d'un véhicule. La présence d'eau dans l'essence vient souvent des mauvaises conditions d'entreposage du carburant au niveau des points de distribution pour le grand public. Ainsi, une fois dans le réservoir, l'eau du fait de sa densité, a tendance à aller se loger dans la partie inférieure de ce dernier où se trouve le point d'alimentation du moteur en carburant. Le mélange éthanol-essence et l'eau forment un liquide homogène compte tenu du caractère miscible de l'éthanol (9).

I.2. Discussions

Pour avoir une vision globale de la consommation de carburant de notre moteur nous allons nous référer à la formule de V. Adamov et Kuavenok :

$$C_S = C_{Sp} * [1,2 - \frac{N}{N_P} + 0,8 (\frac{N}{N_P})^2] \quad (3.2)$$

Et nous avons pu avoir la courbe suivante :

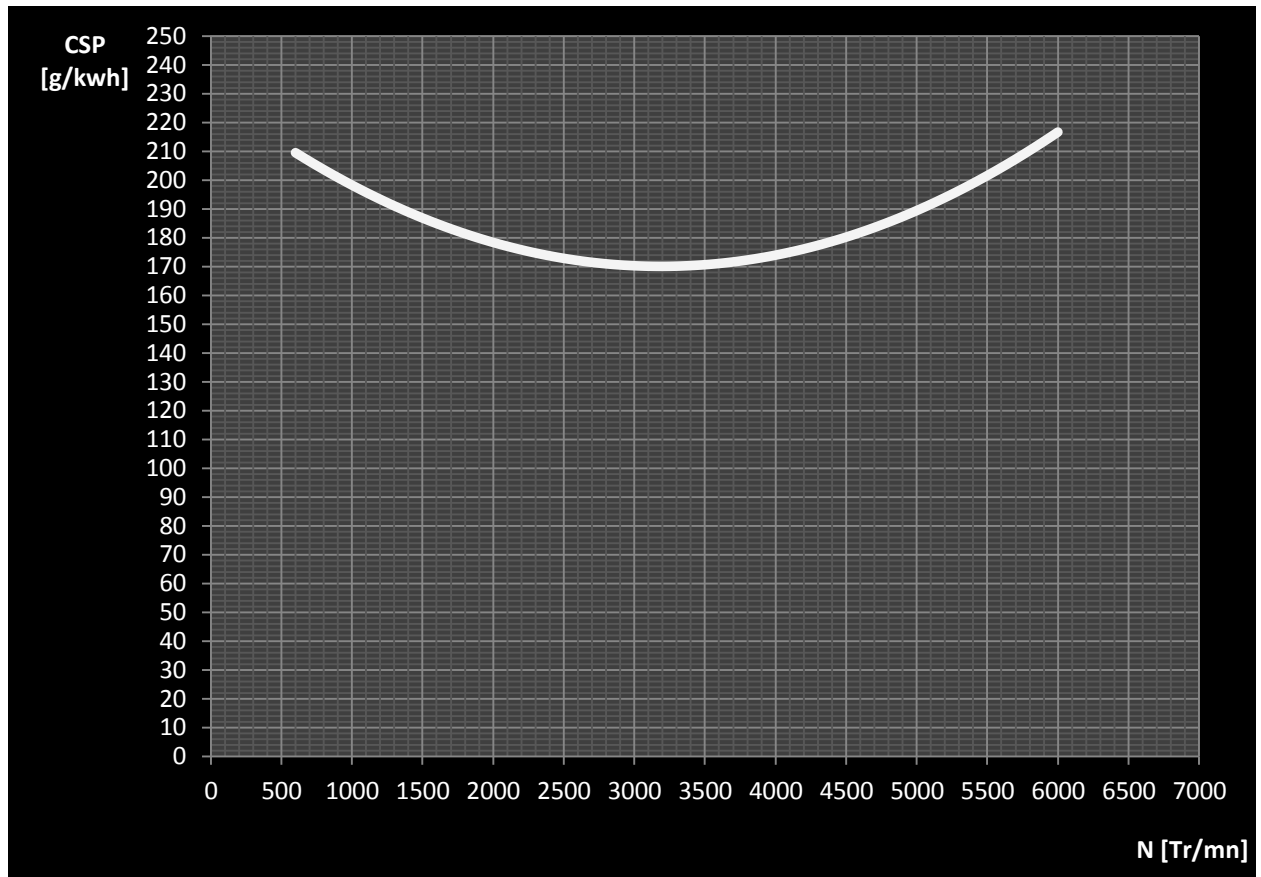


Figure 35: Courbe représentative de la formule de V. Adamov et Kuavenok
[source : auteur]

D'après les résultats et interprétations formulés, nous estimons que plusieurs critères sont à l'origine de l'abondance de la consommation d'éthanol développée par le moteur. Parmi ces anomalies figure la médiocrité de son rapport stœchiométrique qui est de 8,9 par rapport à l'essence qui est de 15 ; ce grand écart de 6 points explique qu'il fallait se pencher sur une opération de réglage ou de modification très intense au niveau du système d'alimentation. Cependant, une baisse de consommation significative entraîne une dégradation de certaines performances telles que « la puissance, le couple ». Cela dit que le travail est complexe et nécessite des soins très particuliers.

On peut citer aussi la faiblesse de son pouvoir calorifique qui se soigne par une augmentation du taux de compression, opération qui prend beaucoup de risque car elle implique une remise en jeu des contraintes thermiques et mécaniques au niveau de la chambre de combustion. Par exemple pour calculer la résistance mécanique de la paroi du cylindre la formule usuelle est :

$$\sigma_r = 0,5 * p_{zmax} * \frac{D}{\delta} \text{ (Formule de Ditzchenko)} \quad (3.3)$$

Avec :

σ_r : Contrainte de résistance mécanique

D : alésage du cylindre

δ : épaisseur de la paroi

p_{zmax} : Pression maximal en fin de combustion

Or

$$P_2 = p_{zmax} = P_2 * \frac{T_3}{T_2}$$

$$\text{Avec: } P_2 = P_1 * \varepsilon^k$$

T_3 : Température fin de combustion

T_2 : Température début de combustion

ε : Taux de compression

k : Exposant adiabatique

Chapitre II. DISCUSSIONS ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS DU BILAN TECHNOLOGIQUE

Notre but est de connaître les limites du moteur en adaptant le carburant à ce dernier. Pour connaître cette limite nous avons utilisé un mélange d'essence-éthanol en augmentant progressivement la quantité d'éthanol dans le mélange.

II.1. Interprétations

II.1.1. SP95E15

Après l'expérience, nous avons constaté que le carburant réagit de la même manière que l'essence SP95 c'est-à-dire que tous les constituants du moteur continuent à fonctionner normalement, malgré une légère hausse de consommation de l'ordre de 0,5 à 1%.

II.1.2. SP95E20

Comme le cas du carburant SP95E15 le moteur ne présente aucune anomalie après l'utilisation du carburant SP95E20. Bien qu'il y ait formation de buées sur le rebord d'échappement cela ne gêne en rien le moteur. Mais une légère hausse de consommation de l'ordre de 0,5 à 1% est aussi observée.

Les buées d'eau sur l'échappement sont dues à la présence de vapeur d'eau après la combustion de l'éthanol à 90°GL.

II.1.3. SP95E25

Avec cette proportion d'éthanol dans le mélange ; le moteur rate un peu, cela est due aux impuretés en particulier l'eau parce que dans 15cl de carburant il y a 0,375 cl d'impuretés. Le moteur a du mal à digérer ces impuretés là mais il peut tout de même fonctionner. Il faut d'ores et déjà envisager une autre solution pour remédier à ce problème.

II.1.4. SP95E30

Comme nous l'avons vu précédemment l'augmentation de la proportion d'éthanol ne ferait qu'empirer les dégâts. D'ailleurs nous avons fait l'expérience qu'en utilisant la proportion d'éthanol à 30% le moteur a du mal à démarrer et s'il démarre il se tue car il n'arrive plus à digérer les impuretés.

Après avoir testé le SP95E30 sur le moteur nous pouvons en déduire que la proportion d'éthanol dans ce carburant est la limite supportée par notre moteur. Donc on a eu recours à une modification du carburant en particulier de l'éthanol.

II.1.5. SP95E30 corrigé

Pendant notre expérience nous avons remplacé l'éthanol à 90°GL par de l'éthanol absolu c'est-à-dire 98°GL. Les faits suivants ont été observés :

Le moteur n'est pas difficile à démarrer, ceci est due à l'utilisation de l'éthanol 98°GL qui présente moins d'impuretés par rapport à l'éthanol 90°GL mais vu que la proportion d'éthanol dans ce mélange est considérable (30%) c'est-à-dire dans 1l d'essence il y a 30cl d'éthanol alors des petits signes de ratage se font observer. On constate aussi des traces de buées d'eau sur le rebord d'échappement. Et on observe une petite hausse de consommation de l'ordre de 1,5% à 2%.

II.1.6. SP95E35 corrigé

Le moteur a du mal à démarrer et même s'il démarre il se tue après quelques instants. Notre moteur expérimental ne peut plus digérer la forte teneur en éthanol. Cette proportion est alors la limite admissible pour notre moteur.

A partir des résultats, nous avons constaté que le moteur peut fonctionner normalement avec un mélange d'essence-éthanol jusqu'à une proportion de 25% en éthanol à 90°GL et nous pouvons même augmenter cette proportion jusqu'à 30% en rectifiant l'éthanol à 98°GL. Au-delà de cette proportion (à partir de 35%) le moteur ne peut plus marcher normalement et au risque de l'abîmer il faudrait apporter des modifications au moteur pour pouvoir user d'une proportion plus élevée en éthanol dans le mélange.

II.2. Discussions

D'après les résultats et les interprétations obtenus en terme de performance technologique lors de l'utilisation du mélange essence-éthanol, nous avons pu constater que l'usage de l'éthanol pourrait être encourageant si l'on prend en considération d'autres démarches supplémentaires car les expériences ont montré que l'addition efficace d'éthanol dans l'essence se délimite jusqu'à 35% max après correction alors l'idée de servir l'éthanol comme substitut total de l'essence, sans tenir compte des impacts économiques et financiers, devrait être l'objectif majeur.

Cela dit que, soit nous allons pousser encore cette étude en allant toujours dans le sens : adapter la technique du carburant au moteur ou dans l'autre sens qui consiste à adapter la technique du moteur au carburant.

L'option pour la première démarche, peut engager autres opérations que l'adjuvance telles que :

- L'amélioration du pouvoir calorifique de l'éthanol
- Le renforcement de sa densité (794Kg/m^3 à 15°C)
- L'augmentation du rapport stœchiométrique

La deuxième option implique à réaliser des opérations dont la tendance est de porter des modifications soit au niveau du mécanisme du moteur, de sa structure, du réglage des systèmes (allumage, refroidissement, distribution). Par exemple, on peut citer les opérations ponctuelles suivantes :

- Modification du réchauffage
- Changement des gicleurs
- Changement du flotteur de la cuve suivant la densité
- Modification de l'avance de l'allumage
- Modification du taux de compression

Mais l'utilisation de l'éthanol comme adjuvant de l'essence n'est pas facile parce qu'il faut faire attention aux propriétés physico-chimique et énergétique de celui-ci, Il faut tenir compte de tous les propriétés avant de l'utiliser. Pour pouvoir améliorer cette proportion, il faut envisager de changer quelques pièces du moteur par exemple :

- Changer le filtre à essence par un filtre plus performant (K&N, Green, JR etc.) pour qu'il puisse plus retenir les impuretés apportées par l'éthanol.
- Changer les bougies d'allumage par des bougies performantes telles que : B8HS, B8EV, B10EGV, B9ES, BR9ES, B10ES, BR9EIX etc.(5).

Diamètre de filetage / Hexagone		Structure		Résistance antiparasitage		Indice thermique	
A	18 mm / 25,4	P	Isolant proéminent	R	Résistance	2	 Type chaud Type froid
B	14 mm / 20,8	M	Bougie compacte	Z	Inductance intégrée	4	
C	10 mm / 16,0	U	Décharge superficiale ou à étincelle semi-surfacique			5	
D	12 mm / 18,0					6	
E	8 mm / 13,0					7	
AB	18 mm / 20,8					8	
BC	14 mm / 16,0					9	
BK	14 mm / 16,0					10	
DC	12 mm / 16,0						

B P R 5 E S - 11

Longueur du filetage		Caractéristiques de conception		Ecartement	
E	19,0 mm	B	Olive SAE monbloque (CR8EB)	vide	Moto : 0.7-0.8mm, Automobile : 0.8-0.9 mm
EH	19,0 mm, semi-filetage Culot 19 mm Filetage 12,7	CM	Electrode de masse oblique Type compact (longueur isolant : 18.5 mm)	-8	0,8 mm
H	12,7 mm	CS	Electrode de masse oblique Type compact (longueur isolateur : 18.5 mm)	-9	0,9mm
L	11,2 mm	G, GV	Bougie d'allumage de course	-10	1,0mm
F	Siège conique	I	Electrode Iridium	-11	1,1mm
	A-F---10,9 mm	IX	Gamme Iridium IX	-13	1,3mm
	B-F---11,2 mm	J	2 électrodes de masse	-14	1,4mm
	B-EF--17,5 mm	K	2 électrodes de masse à effet semi-surfacique	-15	1,5mm
	BM-F --7,8 mm	-L	Semi indice thermique (+ chaud		
vide	Bougie compacte	-LM	Type compact (longueur isolant : 14,5 mm)		
	BM--9,5 mm	N	Electrode de masse spéciale	-S	Joint spécifique
	BPM--9,5 mm	P	Electrode centrale en Platine	-E	Résistance spéciale
	CM---9,5 mm	Q	4 électrodes de masse		
		S	Electrode centrale en cuivre		
		T	3 électrodes de masse		
		U	à décharge semi-surfacique		
		VX	Electrode centrale en Platine		
		Y	Electrode centrale à gorge en V - Proéminence sup. à 1mm		
		Z	Conception spéciale		

- Changer le carburateur ou en modifiant ses éléments de manière à ce qu'il brasse et injecte le carburant au mieux.

Chapitre III. DISCUSSIONS ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS DU BILAN ECOLOGIQUE

Pour répondre aux besoins croissants d'énergie, il faut de grandes quantités de carburants. La fabrication de ces carburants est un processus énergivore et la pollution produite par ces carburants est considérable. Il est donc important de mettre en valeur et de faire des analyses sur les émissions gazeuses. L'analyse est limitée sur 3 gaz (CO, CO₂, HC)

III.1. Interprétations

III.1.1. Essence SP95

La combustion directe dans les moteurs est la source principale d'émission polluante des véhicules. En effet, la combustion de combustible fossile dans les motorisations émet des quantités massives de polluants dans l'atmosphère. On sait depuis longtemps que les moteurs thermiques émettent du dioxyde de carbone, mais également plusieurs polluants néfastes pour la santé et l'environnement. Cette pollution est causée par une combustion imparfaite du moteur thermique. En situation idéale, un moteur se devrait d'avoir une température de combustion élevée ainsi qu'un mélange parfait d'oxygène et de combustible de bonne qualité, ce qui n'est pas le cas des moteurs actuels [13]. Il en résulte des émissions de différents gaz plus ou moins toxiques selon leur composition chimique.

Cette section présente les différentes émissions relatives aux motorisations et plus particulièrement les émissions de CO₂, CO et HC.

III.1.1.1. Monoxyde de carbone ou CO

La production de monoxyde de carbone (CO) par un moteur est due à une trop faible quantité d'air admis pour brûler l'essence injectée dans le cylindre avant la combustion. Le CO est un poison sanguin à faible dose, c'est principalement ce gaz provoque la mort lors des suicides par inhalation de gaz d'échappement. Un véhicule motorisé moderne aux normes, bien réglé et bien utilisé ne produit que d'infimes

quantités de CO par kilomètre parcouru. Les systèmes d'échappement catalytiques ont beaucoup réduit ces émissions [10].

Lors de nos essais nous pouvons constater que le taux de CO émis se situe entre 0,13% à 0,16% (1300 ppm-1600 ppm cf. tableau 9) ce sont des valeurs faibles par rapport à la norme dont la concentration maximale autorisée est de 0% à 5% (limite) ce fort taux de CO est causé par l'absence de pot catalytique et aussi que l'expérience se déroule dans un espace confiné (laboratoire thermique).

III.1.1.2. Hydrocarbures imbrûlés ou HC

Les HC sont constitués d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H). Les hydrocarbures peuvent avoir des effets sur le système nerveux, les globules et les plaquettes du sang. Or les voitures sont responsables de 58% des émissions de HC, il convient donc que ce taux de HC émis soit moindre [10].

Pour une moyenne de 311ppm (cf. tableau 9) notre moteur affiche un assez bon résultat si la limite de teneur en HC est de 500ppm. Ceci est probablement due à un bon réglage du carburateur c'est à dire que le rapport stœchiométrique est voisine 1/15.

III.1.1.3. Dioxyde de carbone ou CO₂

Les changements climatiques sont attribuables en grande partie à la combustion d'énergie fossile et aux émissions de CO₂. En fait, la combustion d'énergie fossile comme l'essence est responsable de 75 % des émissions de CO₂ de l'humanité [14]. Dans les motorisations actuelles, le CO₂ est émis lors de la combustion de l'oxygène et du carburant. En réaction, l'oxygène se lie avec des molécules de carbone et forme des oxydes de carbone. Ces oxydes se transforment ensuite, dès leur contact avec l'air ambiant, en composition chimique la plus stable; en CO₂. Par contre, cette combustion émet plus ou moins de CO₂ en fonction du combustible utilisé [10].

Dans notre cas, il y a en moyenne 8,18% de CO₂ en volume de gaz émis or la limite admissible est de 16%.

III.1.2. Mélange essence-éthanol

Maintenant qu'il est clair qu'il y a un problème d'émission polluante [8] de la part des motorisations à essence, il faut regarder quelles solutions pourraient contribuer à réduire les impacts. Depuis les dernières années, ce sont les économies d'essence

ainsi que la réduction des impacts environnementaux qui ont été les moteurs de l'évolution de l'automobile (1). Cette section présente et analyse la motorisation à venir qui pourrait être substituée au moteur à essence afin de diminuer les impacts de l'automobile sur l'environnement. Plusieurs motorisations semblent prometteuses, mais elles ne sont pas toutes équivalentes et simples à mettre en place.

III.1.2.1. Monoxyde de carbone ou CO

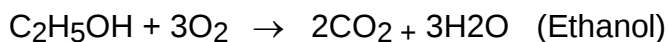
La figure 29 nous montre que le taux de CO varie de 0,13% à 0,16% quel que soit la proportion d'éthanol utilisé dans le mélange de carburant. Ces valeurs diffèrent peu des valeurs obtenues lors de l'utilisation de l'essence. Cela s'explique par l'absence de pot catalytique. Donc dans ce cas l'utilisation de l'éthanol n'a aucune influence sur le taux de monoxyde de carbone.

III.1.2.2. Hydrocarbures imbrûlés ou HC

Sur la figure 32 nous constatons que le taux de HC est variable or d'après les hypothèses cela devrait être stable. Nous avons 2 pics pertinent sur notre figure (SP95E20 et SP95E30) cela s'explique par l'insuffisance d'air nécessaire à la combustion due à la manque d'espace. De plus, le mélange air-carburant (éthanol-essence) n'est pas assez brassé quand il entre dans la chambre de combustion ; combiné à la variation de température et de pression, cela engendre des troubles au cours du cycle moteur d'où augmentation brusque des valeurs.

III.1.2.3. Dioxyde de carbone ou CO₂

On constate d'après la figure 31 que l'émission de CO₂ descend d'une façon significative. Cette descente des valeurs s'explique par une présence des molécules OH dans l'éthanol dès le départ.



Donc dans ce cas l'essence pollue un peu plus que l'éthanol en termes de CO₂.

III.2. Discussions

Le transport et la production d'électricité représenteront les principaux facteurs de croissance des émissions de CO₂ dans le monde à l'horizon 2030. La part des transports devrait augmenter de 23% en 2000 à 25% en 2030 et celle de la production d'électricité de 42 à 46% [8].

Si l'augmentation de l'émission de CO₂ est inévitable alors il faudrait que cette augmentation soit moindre. Nous avons vu lors de nos essais que l'ajout de l'éthanol dans l'essence dans notre carburant, conduit à une réduction considérable du taux de CO₂. Nous avons vu que nous pouvons utiliser l'éthanol à 98°GL jusqu'à une proportion de 30% dans l'essence. Outre cette valeur, il faudrait apporter des modifications au moteur, selon le taux d'éthanol voulu.

Des qualités justifient le quasi-monopole de l'essence, dont elle a bénéficié jusqu'à présent en tant que source d'énergie pour assurer la propulsion des véhicules routiers et des engins autres qu'électriques.

Cependant, au-delà de ces atouts, l'utilisation de l'essence dans les moteurs thermiques présente un grave handicap : La pollution de l'air.

. La combustion des énergies fossiles (essence, pétrole, charbon, gaz naturel) conduit à la libération de CO₂ dans l'atmosphère, carbone qui était piégé dans le sous-sol depuis des millions d'années (d'où le terme d'énergie fossile). Il provient de la décomposition de la faune et de la flore qui ont vécu sur la Terre auparavant. Ce carbone fossile, inactif au niveau de l'effet de serre lorsqu'il est contenu dans les nappes pétrolifères, se combine à l'oxygène de l'air ambiant au cours du processus de combustion pour former du dioxyde de carbone qui est relâché dans l'atmosphère et devient alors actif vis-à-vis de l'effet de serre. La consommation de ces hydrocarbures réintroduit donc dans l'atmosphère du CO₂ qui était sorti du cycle du carbone depuis des millions d'années.

L'homme émet chaque année 24 milliards de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère. Les émissions massives de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, etc.) sont à l'origine du réchauffement climatique (11).

Dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, et compte-tenu des difficultés à diffuser largement des solutions alternatives au moteur à explosion, il y a lieu de trouver des substituts à ces produits d'origine pétrolière pour réduire le rejet de carbone fossile dans le milieu ambiant d'où l'utilisation de l'éthanol.

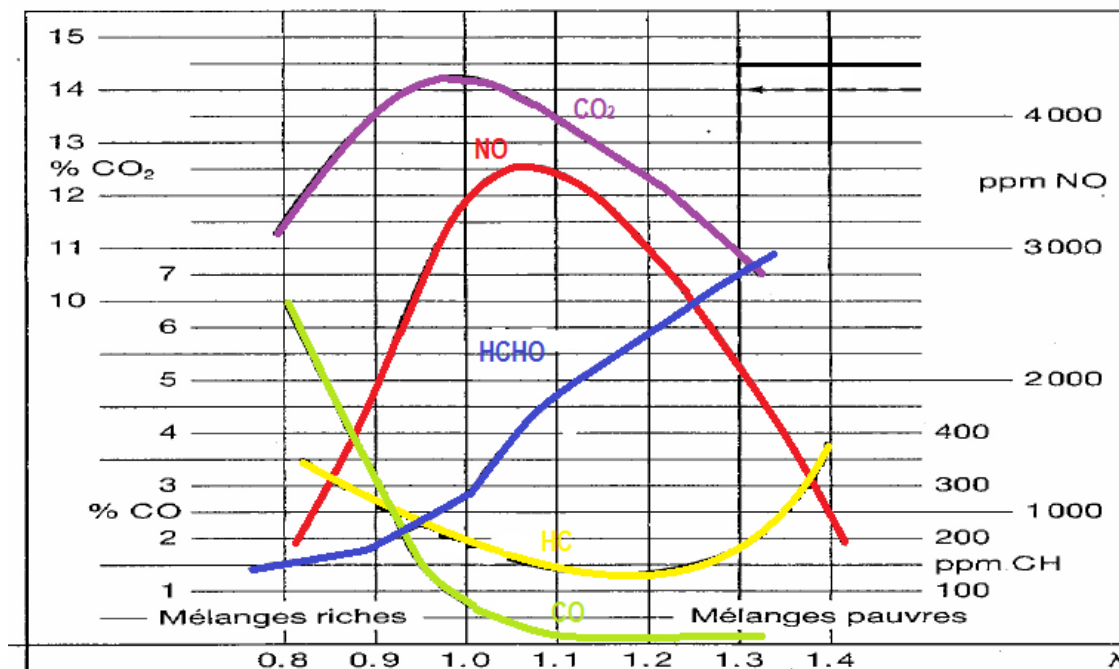


Figure 36: Courbe d'émission de gaz d'échappement [15]

Le **CO** : Le monoxyde de carbone est produit par un manque d'oxygène (il se combine avec l'oxygène pour produire du CO_2 ($2 \text{ CO} + \text{O}_2 \Rightarrow 2 \text{ CO}_2$)).

Donc il diminue avec l'indice d'air (l'augmente avec la richesse).

Le taux de remplissage n'influence pas le CO.

Les **HC** : Tous les hydrocarbures partiellement oxydés ou non oxydés donnent des imbrûlés. Les principales causes sont :

- manque d'oxygène ou d'homogénéité.
- vitesse de combustion trop faible.

⇒ Quand la richesse « R » augmente ⇒ Excès de carburant.

⇒ Quand la richesse « R » diminue ⇒ La vitesse de propagation de la combustion diminue.

⇒ Quand il y a un faible taux de remplissage et N augmente ⇒ La dispersion cyclique (au niveau du cycle) augmente.

CONCLUSION

Dans ce présent ouvrage intitulé « Contribution à l'élaboration des bilans énergétiques, technologiques et écologiques d'un moteur à alcool éthylique » nous avons œuvré sur la mise en valeur des propriétés de l'éthanol, dans son usage comme carburant de substitution dans un moteur Mercedes Benz W201.

Egalement, il a été prouvé que le cycle à 4 temps reste toujours maintenu pendant l'usage consécutif des cinq versions du carburant.

En effet, les expériences au laboratoire thermique ont permis d'effectuer les bilans énergétiques, technologique et écologique.

Lors du bilan énergétique, l'utilisation du carburant SP95E15 a procuré les résultats suivants : l'addition de 15% d'éthanol a occasionné l'augmentation de l'indice d'octane du carburant ce qui a amélioré nettement le rendement du moteur malgré une Légère hausse de la consommation.

L'élaboration du bilan technologique a nécessité une augmentation progressive du taux d'éthanol dans le carburant pendant les essais allant d'E15 à E25 ; ensuite il a fallu remplacer l'éthanol à 90°GL par l'éthanol 98°GL pour pouvoir utiliser E30.

Le bilan écologique a permis de quantifier le taux de CO, CO₂ et HC dans le gaz sortant de l'échappement. Il en a été déduit que si on augmente le taux d'éthanol dans le carburant alors le taux de CO₂ diminue, par ailleurs c'est un grand avantage pour la préservation de l'environnement.

Au terme de ce travail, il est possible de dire que les objectifs fixés sont atteints.

Nous pouvons en conclure, que l'utilisation de l'éthanol en tant que carburant procure maints avantages tant dans la puissance du moteur mais surtout dans la protection de l'environnement malgré le fait que la limite d'éthanol supportée par le moteur est de 30%. Nous sommes certains que la valorisation de ces acquis s'inscrit parmi les démarches stratégiques menant au développement mais surtout à la protection de notre planète.

Dans cette optique, nous suggérons l'extension de ce travail de recherche sur l'adaptation du moteur pour un taux d'éthanol plus élevé allant même jusqu'au fait de rouler complètement à l'éthanol.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. « Commission énergie et développement durable »
décembre 2007.
- [2]. « Histoire de la vigne et du vin et histoire de la bière »
Articles détaillés
- [3]. « Le moteur 2 temps »
BEP maintenance des véhicules et des matériels dominants parcs et jardin
- [4]. « sp95-e10 : la nouvelle essence européenne »
Union française des industries pétrolières, mars 2009
- [5]. **Bertrand Theys**
« Énergies alternatives aux produits pétroliers rédaction »
ADEME
- [6]. **Duquette, m.**
« Grands seigneurs et multinationales »
Les presses de l'université de Montréal, p. 241, 1989.
- [7]. **Etienne Poitrat**
« Biocarburants »
Direction de l'agriculture et des bioénergies
- [8]. **Hamad berna**
« Transestérification des huiles végétales par l'éthanol en conditions douces par catalyses hétérogènes acide et basique »
Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat, université Claude Bernard- Lyon 1, 2009
- [9]. **Henri Mansour z**
« Thermopropulsion : les moteurs thermiques »
- [10]. **Louis Brenn**
« Avenir du secteur de l'automobile dans un contexte de développement durable : solution durable au moteur à essence »

Essai présenté au centre universitaire de formation en environnement de Sherbrooke en vue de l'obtention du grade de maitre en environnement, février 2010

[11]. Mohamed Mehdi kacimi

« Analyse du secteur de l'éthanol selon les principes du développement durable »

Essai présenté au centre universitaire de formation en environnement de sherbrooke en vue de l'obtention du grade de maitre en environnement, mars 2008

[12]. Olivier m.

« Chimie de l'environnement »

Saint-Lambert de Lauzon, pjb éditeur, 301p. 2002

[13]. Roessler p.g. , Brown l.m. , Dunahay t.g. , Heacox d.a. , Jarvis e.e., Schneider j.c. , Talbot s.g. et Zeiler k.g.

“Enzymatic conversion of biomass for fuels production”

1994

[14]. Zhang y., Dubé m.a., Mclean d.d. et kates m.

“Bioresource technology”

2003.

[15]. “Pollution automobile” BTS MCI

WEBOGRAPHIE

(1). www.autoevolution.com

«Italy to offer up to 5,000 euros in green car incentives». *in* auto evolution. 2009
page consultée le 8 novembre 2013.

(2). www.citesciences.fr

« Biocarburants : la France à petits pas ». Article, Guillaume Giraudet. Sciences actualités. 2005.

Site internet consulté le 20 octobre 2013.

(3). www.cyberpresse.ca

« L'éthanol menace les réserves d'eau douce ». Cyberpress. 2007.

Site internet consulté le 30 Octobre 2013.

(4). www.ec.gc.ca

« Utilisation dans les véhicules à essence de mélanges éthanol-essence contenant plus de 10 pour cent d'éthanol ». Direction des systèmes de transport. Direction générale de la prévention de la pollution. Environnement canada.1998.

Site internet consulté le 2 octobre 2013.

(5). www.f1-technologies.fr

Site consulté le 20 décembre 2013

(6). www.femin-f1.com

Site consulté le 20 décembre 2013

(7). www.freresdeshommes.org

Les dangers du développement des biocarburants au Brésil. Frères des hommes. Article. Cécile Godefroy. 2007.

Site internet consulté le 30 novembre 2013.

(8). www.guideauto.com Mercedes-Benz

« Bluetec: au volant du diesel le plus propre au monde ». *Guide de l'auto*. Duval, J. 2006.

Page consultée le 14 septembre 2013.

(9). www.inrs.fr

Fiche toxicologique n°48, édition 1997 de l'INRS. Cahiers de notes documentaires. Institut national de recherche et de la sécurité. 1997.
Site internet consulté le 29 septembre 2013.

(10). www.mercedes.com

« Mercedes 190 e 118 ch - fiche technique & performances »
Site internet consulté le 13 novembre 2013

(11). www.notre-planete.info

« Les biocarburants ». Revue. Agriculture du Maghreb n°67, avril 2013
Page consultée le 03 janvier 2014

(12). www.oecd.org

« Incidence de la croissance de la production de biocarburants sur les marchés agricoles ». Organisation de coopération et de développement économiques. 2006.
Page consultée le 5 septembre 2013.

(13). www.planeteenergies.com

« Raffinage. *Planète énergie* ». Total. 2009.
Page consultée le 20 septembre 2013.

(14). www.poumon.ca

Pollution & qualité de l'air. Association pulmonaire
Page consultée le 14 septembre 2013.

(15). www.toutsurlamoto.com

Page consultée le 20 décembre 2013

(16). www.vehiculespropres.net

« Déforestation sauvage en Indonésie pour de l'huile de palme destinée notamment à produire des agro carburants ». Article. Nicols Simiand. Véhicules propres. 2007.
Site internet consulté le 25 novembre 2013.

(17). www.wikipedia.com

« Essence »
Site internet consulté le 15 septembre 2013

ANNEXES

ANNEXE 1. La production de l'essence

Pour répondre aux besoins croissants d'énergie, il faut de grandes quantités de carburants. La fabrication de ces carburants est un processus énergivore et la pollution produite à ces différentes étapes est considérable. Il est donc essentiel de démontrer l'importance de ce processus dans la prise des décisions relatives aux nouvelles motorisations. Une présentation des différentes étapes de la production sera effectuée et sera suivi d'une analyse des émissions polluantes reliées à chacune de ces étapes.

▪ Extraction et sources de pétrole

L'extraction consiste à créer une pression dans un réservoir pour en faire jaillir le pétrole. Différentes installations peuvent être utilisées. Des puits terrestres ou des plateformes en haute mer peuvent servir à aller chercher ce précieux liquide dans les grandes étendues souterraines. Il existe également des gisements de sable bitumineux qui contiennent des quantités appréciables de pétrole. Cette exploitation est plus complexe que les deux autres, mais produit tout de même un pétrole pratiquement similaire. Dans les réservoirs, on peut injecter soit de l'air ou un liquide afin d'augmenter la pression à l'intérieur, et ainsi augmenter la productivité. Cette méthode se nomme la récupération assistée. Généralement, ce système utilise de l'eau. La récupération assistée peut être également utilisée dans le cadre d'un système de captage et stockage du CO₂ (CSC). En effet, le CO₂ liquide permet de créer une pression dans les réservoirs tout en stockant un polluant. Cette méthode est à l'étude par plusieurs compagnies. Actuellement, les réservoirs ont complété leur vie utile lorsque 10 à 50 % du contenu du puits a été extrait. Le CSC permettrait d'augmenter ces proportions dans un avenir rapproché, moyennant un prix du baril plus élevé. Les sables bitumineux contiennent également du bitume permettant d'extraire du pétrole. Ces sables sont un intermédiaire entre le charbon et le pétrole liquide. Ils proviennent eux aussi d'une lente fossilisation d'animaux et de végétaux avec des sédiments (1). En fait, il est très difficile d'extraire le pétrole puisqu'il est aggloméré à des grains de sable et à de l'eau. Le processus est très énergivore et contribue de façon considérable aux émissions de CO₂. En effet, ce procédé est extrêmement contesté par le milieu écologiste et par les

émissions atmosphériques et de par l'impact sur la faune et la flore. En effet, la production d'un baril de pétrole des sables bitumineux émet cinq fois plus de gaz à effet de serre que la production conventionnelle [13].

▪ Transport

Le transport du pétrole contribue également au facteur polluant de ce carburant. Outre les pays producteurs de pétrole, le précieux liquide doit être importé. Les importations de pétrole voyagent par voie maritime puisque les pays exportateurs ne peuvent être rejoints par d'autres moyens à des coûts aussi avantageux. Parcourant des milliers de kilomètres, les pétroliers et superpétroliers consomment beaucoup de carburant et contribuent aux émissions de CO₂. D'autre part, le fait de transporter de grandes quantités de pétrole liquide augmente le risque de déversement. Ces déversements ont causé des marées noires qui ont littéralement détruit des écosystèmes entiers et réduit à néant la reproduction de certaines espèces.

Exemple : Nous n'avons qu'à penser au pétrolier Exxon Valdez qui s'est échoué au large des côtes de l'Alaska en 1989 causant la plus grande marée noire de l'histoire du transport maritime. Lors de ce déversement, plus de 40 000 tonnes de pétrole furent déversées sur plus de 7 000 km carrés et plus de 800 km de côte furent polluées (13).

▪ Raffinage

Le raffinage consiste à transformer le pétrole brut par différents procédés. Trois types d'opérations peuvent être réalisés dans le processus : la séparation, la conversion et le traitement. Selon le produit désiré, le pétrole sera traité différemment. L'essence nécessite les trois types d'opération. Plus précisément, l'essence nécessite une distillation, un hydrotraitement et finalement un reformage catalytique.

Premièrement, La séparation par distillation consiste à amener à ébullition le pétrole brut et à obtenir de la vapeur. La vapeur est ensuite condensée dans la colonne de fractionnement. Le pétrole en vapeur se condense ensuite à diverses étapes puis certains produits en sont retirés. Ce procédé peut se faire sous vide, à haute ou à faible pression. Cette méthode permet de retirer certains produits finis sans aucune autre transformation.

Une deuxième distillation peut être effectuée afin d'obtenir plus de produits légers avec les produits lourds restants. D'autres produits, telle l'essence, exigent des transformations supplémentaires. On poursuit donc avec deux étapes de conversion

soient l'hydrotraitement ainsi que le reformage catalytique afin d'obtenir un produit adéquat. Par la suite, l'hydrotraitement est utilisé pour retirer les impuretés telles que le soufre, l'azote et les métaux. Ce traitement chimique catalytique utilise un mélange gazeux riche en hydrogène afin d'extraire les polluants [3]. Ce mélange gazeux est compressé et passé à travers le mélange. Par exemple, le soufre est retiré du mélange en le transformant en H_2S et en le récupérant sous forme gazeuse. Ce gaz sera traité par la suite afin de le rendre inoffensif. Le mélange liquide émerge du traitement plus propre.

Finalement, le **reformage catalytique** permet d'augmenter la charge en octane des mélanges pauvres. On assiste également dans ce procédé au reformage de molécule afin de limiter leur taille. Cette réaction dite de conversion est obtenue par la combinaison de la chaleur ($550^{\circ}C$) ainsi que d'une pression forte. C'est à cette étape que se crée les molécules de benzène, un composé organique. Cette étape permet d'atteindre les normes en teneur en soufre et en octane/cétane ainsi que les normes sur la volatilité des carburants [3].

La demande totale mondiale est composée à 40 % des produits légers telle l'essence, à 40 % des fiouls ou gazoles et 20 % des produits lourds. Par contre, seul le pétrole Sahara algérien répond à ces besoins. Les autres sources d'approvisionnement contiennent plus de produits lourds ce qui complique le travail. L'énergie requise est donc supérieure puisque le pétrole doit être traité par hydrocraquage afin de réduire la taille des molécules et ainsi obtenir les mêmes produits. La consommation d'énergie est donc très importante à cette étape.

Pour raffiner le pétrole, une raffinerie utilise 15 à 20 % de l'énergie totale contenue dans le pétrole brut. Si l'on ajoute à cela les pertes d'inefficacité de l'ordre de 50 % dans la combustion interne de l'automobile, il n'y a en fait que très peu d'énergie vraiment transformée en mouvement du véhicule [12].

▪ Distribution

La distribution consomme également une grande part d'énergie. Les carburants doivent être transportés des raffineurs jusqu'aux consommateurs sur de longues distances. Les principales émissions liées à la distribution proviennent donc du transport routier et ferroviaire. Ce sont donc des émissions de dioxyde de carbone, d'oxyde nitreux, de dioxyde de soufre et de particules fines reliées au moteur diesel que l'on constate à cette étape. Les émissions fugitives lors du ravitaillement du véhicule

constituent également une source importante de pollution. De par sa caractéristique volatile, l'essence émet des vapeurs toxiques dès son contact avec l'air ambiant. Il en résulte des émissions de benzène, considéré cancérigène. En se volatilisant, ces émissions contribuent à la perte d'efficacité énergétique du système de distribution, mais également à la pollution de l'atmosphère, et nuisent à la santé humaine. En résumé, le résultat du processus de fabrication présenté est une multitude de produits et sous-produits. Selon le type de pétrole brut utilisé, il y aura des carburants légers et des carburants plus lourds dans des proportions différentes. Il est toujours possible de produire plus de carburants à partir d'un baril de pétrole, mais les coûts en énergie grimpent rapidement au-delà de toute rentabilité possible. De plus, le cycle de production étant extrêmement énergivore, il contribue à rendre ce carburant des plus polluants. L'amélioration des techniques de production de carburants pourrait réduire la consommation d'énergie ainsi que les coûts de production.

ANNEXE 2. L'utilisation de l'essence comme carburant.

▪ Le dioxyde de carbone (CO₂)

. Que ce soit pour produire de l'énergie électrique dans une centrale thermique ou pour être utilisés comme combustible dans les moteurs des véhicules, les besoins en carburants sont énormes pour les activités humaines. Le dioxyde de carbone est un gaz incolore et inodore. Il est le gaz le plus abondant de l'atmosphère. Il joue un rôle essentiel dans la photosynthèse des plantes ainsi que dans la fabrication de l'oxygène indispensable à la vie. Les plantes entreposent le CO₂ et le retirent de l'atmosphère. Puis elles meurent et relâchent ce gaz lors du processus de décomposition. On appelle ce cycle de stockage et d'émission, le cycle du carbone (8). Ce cycle fonctionne parfaitement lorsqu'il n'est pas influencé par l'humain : Séquestration par les végétaux, dans les sols et les océans puis relâchement lors de la décomposition. L'impact négatif des activités humaines a modifié cet équilibre fragile du cycle du carbone. En effet, le carbone stocké dans les nappes de pétrole était accumulé depuis des millions d'années. Or, l'humain est en train de le relâcher en moins de 200 ans. Le CO₂ est le principal gaz à effet de serre produit par les véhicules légers. Il représente 95 % de toutes les émissions de GES d'un véhicule [9]. On peut donc dire que les émissions de CO₂ reliées aux véhicules légers ont un impact réel sur l'environnement (9).

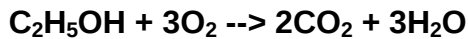
Alors que le diesel en émet 2,77 kg. En tenant compte du cycle de vie, de l'extraction à l'émission en bout de tuyau, ces combustibles en émettent respectivement 2,5 kg et 3 kg par litre [13].

La comparaison des besoins en combustible fossile (pétrole brut) et des émissions de CO₂ d'un litre d'éthanol et d'un litre d'essence montre des résultats bien différents : Produire un litre d'essence nécessite 1.33 litre de pétrole brut alors que la production d'un litre d'éthanol n'en implique que 0.33 litre. Les phases de production et de combustion d'un litre d'essence engendrent une émission de 3 kg de CO_{2eq} alors que ce chiffre tombe à 0.6 kg pour un litre d'éthanol (de la culture de la plante à la combustion du carburant).

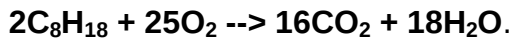
La filière essence rejette au total environ 3 kg de CO₂ par litre d'essence alors que la filière éthanol n'en rejette qu'environ 0,6 kg par litre d'éthanol.

En effet, au niveau production, les 2 filières rejettent environ la même quantité de CO_2 (environ 0,6 kg). La différence se situe au niveau de la combustion :

L'alcool brûle selon l'équation suivante :



L'essence (octane), quant à elle, brûle selon l'équation suivante :



Ainsi, une mole d'octane dégage 4 fois plus de CO_2 qu'une mole d'alcool. 46 g d'alcool dégagent 2 moles de CO_2 , donc 1 g d'alcool dégage 0,043 mole de CO_2 tandis que 2 moles = 228 g de C_8H_{18} dégagent 16 moles de CO_2 , donc 1 g d'octane dégage 0,070 mole de CO_2 soit environ 2,5 kg de CO_2 par litre d'essence. Donc à poids égal, l'alcool dégage moins de CO_2 . De plus la combustion de l'éthanol est compensée par l'absorption du CO_2 par les plantes car ces plantes réalisent la photosynthèse. Au final, la combustion de l'éthanol ne rajoute pas de CO_2 dans l'atmosphère, contrairement à celle du pétrole.

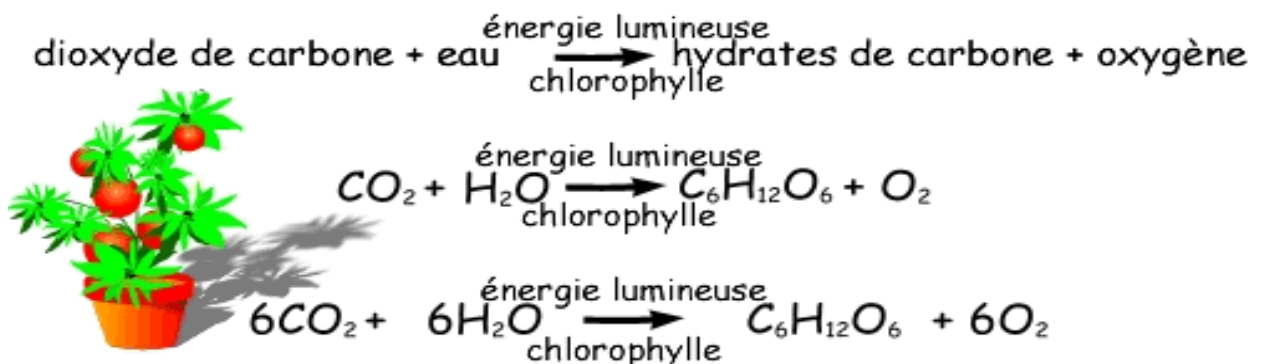


Figure : La photosynthèse

▪ Méthane (CH_4)

Le méthane est un gaz provenant de plusieurs sources d'origines naturelles et anthropiques. Ce gaz composé de carbone et d'hydrogène est un gaz à effet de serre ayant un potentiel de réchauffement atmosphérique 21 fois plus élevé que le CO_2 . On associe généralement le tiers des émissions de CO_2 à l'impact du méthane dans l'effet

de serre (1). Sous forme naturelle, le méthane est créé par la décomposition anaérobie des matières organiques.

- **Oxyde nitreux (N_2O)**

Les oxydes nitreux ont un potentiel de réchauffement 310 fois plus élevé que le CO_2 . Ce gaz, malgré sa faible concentration dans les gaz d'échappement, contribue de façon significative à l'effet de serre.

- **Oxyde d'azote (NO_x)**

Les oxydes d'azote se forment suite à la combustion à haute température d'un carburant. En effectuant la combustion, le moteur dégage de l'oxygène qui se joint à l'azote contenu dans l'air ambiant créant ainsi des molécules de NO. Cette molécule s'oxyde facilement pour former du dioxyde d'azote (NO_2). Ce dioxyde d'azote est le principal gaz contributeur au smog photochimique. Lors de son contact avec l'air, il en résulte également la formation d'acide nitrique, substance très corrosive. Cet acide est précurseur des pluies acides (14). Ce phénomène provoque l'acidification des milieux humides, perturbant les populations de poissons ainsi que tout l'écosystème. Les NO_x sont non seulement nocifs pour l'environnement, mais également pour la santé humaine. En effet, la transformation des NO_x ainsi que des COV en smog photochimique produit diverses particules et nombre de gaz toxiques pour l'humain. De plus, en composant le smog photochimique, ces molécules peuvent infecter les voies respiratoires et causer de l'hyperactivité bronchique chez les asthmatiques. Les gens aux prises avec des problèmes respiratoires ainsi que les enfants et les personnes âgées sont plus à risque (14).

- **Particules fines (PM_x)**

Les véhicules émettent des particules en suspension qui sont essentiellement des hydrocarbures imbrûlés (**HC**). Ces particules sont classées selon leur diamètre ; des suies aux nanoparticules par ordre décroissant.

PM_{10} = particules de taille inférieure à 10 micromètres - $\text{PM}_{2,5}$ = particules fines - $\text{PM}_{1,0}$ = particules très fines - HAP = Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (certains étant reconnus très cancérigènes)

Les particules fines (PM_x) sont émises lors de la combustion du carburant. Les carburants diesels sont de loin les plus grands émetteurs de particules fines. Ces particules fines pénètrent facilement et en profondeur dans les poumons, causant des infections pulmonaires, des problèmes cardiovasculaires et même des cancers [9]. Elles peuvent aussi être émises par certaines réactions chimiques produisant des particules fines. On considère les gaz suivants comme ayant un potentiel à effectuer une telle réaction : les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO_2), les composés organiques volatils (COV), l'ammoniac (NH_3) et des particules déjà présentes dans l'atmosphère (5).

- **Dioxyde de soufre (SO_2)**

Produit dans une moindre importance par les automobiles, le dioxyde de soufre est surtout produit par les véhicules diesels. Malgré le resserrement des normes en la matière, les carburants contiennent encore une portion de soufre produisant des effets néfastes sur l'environnement et sur la santé. Le SO_2 a des effets majeurs sur la qualité des milieux humides et de la flore. En effet, le SO_2 s'oxyde rapidement au contact de l'air et forme de l'acide sulfurique, un acide très puissant contribuant grandement aux précipitations acides. Ces précipitations acides affectent la croissance des végétaux en réduisant le rythme annuel. Du côté des milieux humides, on constate une acidification affectant la faune et la flore. Les effets sur la santé du SO_2 sont également préoccupants. On constate chez les personnes vulnérables, telles que les personnes âgées, les enfants, les personnes aux prises avec des problèmes cardiaques ou respiratoires, une réduction de leur capacité pulmonaire et une aggravation des maladies du système respiratoire causé par la pollution liée au SO_2 (14).

- **Composés organiques volatils (COV)**

Les composés organiques volatils (COV) sont des molécules composées d'au moins un atome de carbone et un d'hydrogène. Les principales sources d'émission de COV d'origine anthropique sont liées aux combustibles fossiles. En effet, 45 % des émissions de COV sont reliées au transport.

Les COV produits par la combustion sont très nocifs pour la santé. Le Benzène, par exemple, est un composé de l'essence permettant d'augmenter l'indice de cétane et par conséquent de retarder la détonation. Il est le principal composé organique contenu dans les rejets gazeux de l'automobile. Le benzène, comme la plupart des composés

organiques, est nocif pour la santé. En effet, il est considéré cancérigène et mutagène [9]. De plus, tous les COV sont précurseurs du smog urbain causant des effets des plus néfastes sur la santé humaine.

- **Benzène**

Le plomb de l'essence permettait d'augmenter le taux de compression, par élévation de l'indice d'octane et il améliorait la lubrification du moteur. Trop toxique, il a été remplacé par des additifs contenant du benzène. Ce benzène n'est normalement pas rejeté après la combustion. Il est en revanche volatil lorsqu'il est exposé à l'air, comme pendant l'approvisionnement à la pompe.

Bien que cancérigène et mutagène, il est réputé présenter un risque négligeable pour l'automobiliste. Il augmente cependant le risque de cancer pour les travailleurs de l'industrie pétrolière, les pompistes et les personnes vivant au voisinage des stations-service.

- **Monoxyde de carbone**

, mais contrairement à une idée répandue, ils ne stockent pas de particules de carbone, ni ne fonctionnent à froid (au démarrage) : il leur faut du temps pour « chauffer » et ainsi activer la catalysation.

De plus, avec le temps des particules de métaux lourds du groupe du platine (les catalyseurs) se détachent de leur support, et sont perdus en quantité significative avec les gaz d'échappement au fur et à mesure que les pots catalytiques vieillissent, ou quand les voitures roulent sur de mauvaises routes.

- **Ozone (O₃)**

Les motorisations émettent également de l'ozone. Cette molécule est un élément fort appréciable dans la haute atmosphère pour notre écosystème planétaire. Cette fine couche nous protège des radiations provenant de l'espace et du Soleil. Cependant, au niveau du sol, l'ozone est nuisible à la santé. Les NO_x ainsi que les COV se transforment sous l'effet du soleil pour former de l'ozone ainsi que divers mélanges de gaz toxique. Le tout est réalisé directement au niveau du sol (5). Parmi les effets notables sur la santé, l'Association pulmonaire International note principalement

l'aggravation des symptômes de l'asthme; l'enflure et l'irritation des voies respiratoires; l'irritation, yeux, nez, gorge; toux, la respiration sifflante et des maux de tête. À long terme, on note également des risques de dommages permanents aux poumons [19] Un phénomène qui nous fait prendre conscience que la pollution atmosphérique existe et qu'elle a des impacts directs sur notre santé.

En résumé, les émissions polluantes des motorisations sont considérables. Il est essentiel de saisir que les émissions de CO₂ contribuent à l'effet de serre et par ricochet aux changements climatiques. Par ailleurs, les émissions de NO_x, SO₂ et COV contribuent au développement d'épisodes de smog photochimique qui sont nocifs pour la santé humaine. Les pluies acides ainsi que la perte de biodiversité dans les lacs acidifiés sont des conséquences de l'émission du SO₂ dans l'environnement. Globalement, on constate que les émissions des véhicules ont un impact notable sur l'environnement et sur la santé humaine. Il en va donc de notre avenir de prendre les moyens de réduire ces impacts.

Tableau : Exemple de composition des « hydrocarbures imbrûlés » dans les gaz d'échappement d'un moteur à essence

Constituant	Concentration relative
Méthane	9,6
Éthane	5,2
Éthylène	31,7
Propylène	24,8
Acétylène	15,6
Isobutane	3,5
Butane	3,9
(E) But-2-ène	2,3
But-1-ène	3,5
Isobutène	14,8
(Z) But-2-ène	1,7
Isopentane	13,5
Propyne	3,4

n -Pentane	4,8
Buta-1,3-diène	7,0
Hexanes	1,7
Benzène	24,3
Isooctane	19,1
Toluène	100
Éthylbenzène	52,2
Xylènes	23,9
Isopropylbenzène	6,1

ANNEXE 3. Ethanol

Le présent chapitre a pour objectif de souligner l'ambivalence de la filière de l'éthanol. L'approche préconisée s'articule autour d'une démarche systématique qui vise à analyser la filière de l'éthanol selon les trois piliers sur lesquels repose le concept de développement durable à savoir l'économie, la société et l'environnement. Les enjeux économiques, sociaux et environnementaux sont énoncés de façon factuelle, dans la perspective de faire ressortir les arguments forts en faveur et en défaveur du développement de la filière de l'éthanol.

Enjeux économiques

La première section aborde l'analyse de la filière de l'éthanol sous son aspect politique et économique. Elle tend à faire le point sur les arguments en faveur du secteur de l'éthanol et de son potentiel à assouplir les relations internationales, à créer des emplois et son faible impact sur le prix des denrées alimentaires. La deuxième sous-section, quant à elle, aborde les arguments en défaveur de la filière qui dénoncent des coûts de production élevés, un rendement énergétique inférieur à celui de l'essence, un impact négatif sur les systèmes de production et une augmentation du prix du grain.

- **Arguments en faveur de l'éthanol**

La production de l'éthanol, ne peut espérer, aux vues des perspectives de développement, rivaliser avec les énergies fossiles. Cependant, la voie des biocarburants en général et celle de l'éthanol en particulier a pour objectif de diminuer et ce, toute proportion gardée, la forte dépendance des économies à l'égard du pétrole. Rappelons que l'augmentation du prix du pétrole est le résultat, entre autres, des tensions internes qui sévissent au Moyen-Orient. Le développement de la filière de l'éthanol, au même titre que toute énergie renouvelable, joue un rôle politique au niveau des relations internationales entre les pays importateurs et les pays producteurs de pétrole. Un assouplissement de cette dépendance aurait pour conséquence une diminution des tensions actuelles, entre autres, entre les États-Unis et les pays du Moyen-Orient où sont concentrées les plus grandes réserves pétrolières. D'ailleurs, les politiques énergétiques des gouvernements producteurs d'éthanol sont explicites et visent à contrer cette dépendance à l'égard des produits pétroliers qui affichent à

l'heure actuelle des prix record. Compte tenu de ses caractéristiques, la filière de l'éthanol s'ajoute à la longue liste des énergies alternatives dont le développement est motivé par une vision qui converge vers l'autonomie énergétique.

Le développement de la filière de l'éthanol suscite l'émergence de nouveaux débouchés pour les agriculteurs, de nouvelles perspectives pour les compagnies forestières, pour les unités agroalimentaires et de nouvelles opportunités d'emploi, à un niveau local, pour la construction et l'exploitation des nouvelles unités de production d'éthanol. Pour les agriculteurs, la forte demande en éthanol attisée par un contexte politique favorable représente une avenue lucrative qui ouvre la voie à la valorisation des cultures traditionnelles. Les biocarburants semblent redonner espoir aux agriculteurs. Le cours élevé du prix du pétrole est à l'origine, d'une part, de l'augmentation des facteurs de production des produits agricoles et, d'autre part, de la stimulation du marché des biocarburants. En effet, le prix élevé du pétrole crée un contexte favorable à la production de l'éthanol dont les coûts de production sont plus onéreux que ceux du pétrole. Ainsi, cet engouement affiché pour la production de l'éthanol crée une forte demande sur les marchés et engendre, à son tour, une augmentation des prix des denrées alimentaires utilisées dans le processus de fabrication de l'éthanol (11),

Toutefois, l'étude conclue que les répercussions du prix élevé du pétrole sur les marchés agricoles tiendraient d'avantage aux effets directs du prix du pétrole sur les coûts de production agricoles qu'à la croissance de la demande en produits agricoles (11)

Les spécialiste des biocarburants, affirme que la demande de ces derniers devrait représenter le développement le plus significatif du secteur agricole depuis l'utilisation du maïs hybride dans les années trente [11].

▪ Arguments en défaveur de l'éthanol

Le contexte politique et économique favorable au développement de la filière de l'éthanol, suscite chez les agriculteurs une préférence pour les cultures à destinée énergétique au dépend des éleveurs qui assistent à une flambée de leur coût de production dans la mesure où les céréales représentent l'intrant de base des unités d'élevage bovine et porcine. Cette augmentation du prix de la moulée se répercute sur

le prix du kilogramme de viande rouge et blanche, principales sources protéiniques du consommateur. Les répercussions sur les revenus générés par cette filière sont nettes.

La valorisation des cultures destinées à la production de biocarburants se doit de répondre à la condition majeure de la disponibilité en terres cultivables face à la concurrence du marché de l'alimentation et des autres utilisations énergétiques de biomasse [10]. À l'heure actuelle 5 % seulement de la production mondiale de biomasse mobilisable pour la production de biocarburants représente 13,5 milliards de tonnes de matières premières, ce qui représenterait 26 % de la consommation mondiale d'énergie. Un tiers de ce potentiel est utilisé à hauteur de 80 % sous forme de bois énergie et 1 % sous forme de biocarburants selon les données de l'année 2005 [10]. Encore une fois, aux vues des quantités mobilisables, le développement de la filière présente des limites de développement et est susceptible d'être à l'origine de profonds changements dans les milieux ruraux les plus défavorisés.

Enjeux sociaux

La deuxième section aborde l'analyse de l'impact de la filière de l'éthanol sur la société. La première sous-section fait ressortir les aspects sociaux en faveur de la filière de l'éthanol avec notamment ses effets positifs sur le monde paysan qui y voit une nouvelle source de revenus et une nouvelle source d'énergie. La deuxième sous-section, quant à elle, aborde les arguments en défaveur de la filière soient les problèmes d'accès à l'eau, la menace de la monoculture sur l'approvisionnement alimentaire et finalement la perte de jouissance du droit de propriété par les populations les plus défavorisées.

▪ Arguments en faveur de l'éthanol

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le secteur des bioénergies d'origine agricole et forestière est un moyen de lutte contre la pauvreté et la faim. Le rapport de la 19ème session du Comité de l'agriculture (Rome 13-16 avril 2005), soutient que la bioénergie est un moyen de diversifier les activités agricoles et forestières qui à leur tour amélioreraient la sécurité alimentaire des populations les plus démunies (FAO, 2005). Cette perspective est encourageante pour la petite paysannerie afin de leur permettre de cultiver des produits, tels que la canne à sucre et l'huile de palme, tous les deux prisés par l'industrie des biocarburants. La FAO,

étudie les incidences potentielles de la production des bioénergies sur la sécurité alimentaire dans les pays en développement.

« La production de biocarburants n'a pas besoin de concurrencer la production vivrière, si la demande en biocarburants permet aux ménages ruraux d'augmenter leurs revenus et si ces derniers sont à leur tour investis pour accroître la productivité de toutes les activités agricoles » (12)

Il est important de rappeler que la récente augmentation du prix du pétrole est responsable de répercussions profondes parmi les populations pauvres des pays du « sud » sachant que sur les 50 pays les plus pauvres, 25 importent la totalité des produits pétroliers pour satisfaire les besoins de leur économie (12). Afin d'éviter les problèmes d'expropriations dû au secteur de l'éthanol, par exemple, le gouvernement tanzanien exige que les paysans qui pratiquent l'agriculture de subsistance ne soient pas dépossédés de leurs terres. L'émulation à l'égard des biocarburants dans les pays du Nord représente un nouveau moyen d'intensifier l'activité agricole dans les pays du Sud.

Les biocarburants représentent une source d'énergie utilisée dans des projets d'électrification en milieu rural.

À titre d'exemple, dans la région de Sao Paulo au Brésil, les unités de production d'éthanol déploient une puissance électrique, produite par l'incinération de la fibre de canne, d'environ 300 000 MW qui alimentent le réseau électrique de l'état. Cependant, malgré ces aspects positifs, l'éthanol suscite un tollé au sein de la communauté internationale.

▪ Arguments en défaveur de l'éthanol

Les experts de la FAO, soutiennent que la production et l'utilisation des biocombustibles nécessitent une gestion responsable si l'objectif est d'assurer, au monde rural, des services d'approvisionnement en énergie tout en renforçant les mesures prises à l'égard de la sécurité alimentaire et à l'accès à l'eau potable. La problématique de l'accès à l'eau potable interpelle les spécialistes de la gestion de l'eau dans la mesure où le secteur de l'éthanol nécessite des quantités importantes d'eau. L'Institut international de l'eau de Stockholm (SIWI) estime qu'en 2050, la quantité

d'eau nécessaire à la production de biocarburants atteindra les niveaux d'eau requis pour alimenter l'ensemble de la planète [1]. Le débat entre le gouvernement et le secteur privé n'accorde pas assez d'intérêt pour la question de l'approvisionnement en eau compte tenu des ravages de certaines cultures sur les nappes phréatiques [1]. Les grandes cultures notamment céréalières requièrent des quantités importantes en eau à fortiori lorsque des objectifs de performance et de rentabilité entrent en ligne de compte. À titre d'information, la production d'un kilogramme de maïs et de blé requiert respectivement 500 à 1 000 litres d'eau et 1000 à 1500 litres d'eau. Ces besoins en eau rentrent en compétition directe avec les besoins des populations locales.

.De plus, la communauté internationale ne s'interroge sur le fait de produire de l'énergie à partir d'une denrée destinée à l'alimentation de l'espèce humaine. Selon l'OCDE, dans les dix prochaines années, le tiers du maïs produit aux États-Unis et plus de la moitié des oléagineux produits sur le continent européen seront destinés au marché de l'éthanol. L'Organisation des Nations Unies (ONU) s'est exprimé en défaveur de la filière de l'éthanol lors de l'Émission « Enquête » de Radio Canada du 8 novembre 2007. Pour ce dernier, entrer en compétition avec le marché de l'alimentation humaine se répercuterait dans le cadre du Programme alimentaire mondial (PAM). Selon ce dernier, l'énergie domine le marché des produits alimentaires compte tenu des prix qui y sont pratiqués. « Le sac de grain se vide pour remplir les réservoirs des véhicules ». La rentabilité de l'éthanol prend largement le dessus sur la production alimentaire. Le cas le plus criant est celui du regroupement, au Québec, de 600 agriculteurs dont la totalité de la production de maïs est destinée à l'unique usine d'éthanol de la province localisée à Varenne. Les répercussions de cette situation sur les marchés mondiaux faits que les prix du sucre, du maïs et du blé ont augmenté de 25 % en 2006. Au Mexique, le cours du maïs a fait augmenter le prix de la tortilla, qui compose la base de l'alimentation de près de 50 millions de personnes, de 80 % en 2007. En l'espace de huit mois, le prix du maïs a augmenté de 16 %. Selon les données de l'émission « Enquête » de Radio Canada du 8 novembre 2007, un plein d'essence d'une voiture classique nécessite une surface de 280 mètres carré soit 90 kilogrammes de maïs. À titre indicatif, cette quantité de maïs permet d'assurer un apport calorifique journalier (2 000 Kcal/jour) suffisant, pour une personne adulte pendant une année. Le cas du Parc National de Tan Jung Puting au Kalimantan, en Indonésie, a fait couler beaucoup d'encre. Une partie de ce dernier a été détruite pour servir les intérêts des

producteurs d'éthanol qui n'hésitent pas à exproprier et torturer les agriculteurs impuissants face à ce raz de marée alors que le rapport de la Banque mondiale, intitulé « Pour des politiques foncières favorables à la croissance et la réduction de la pauvreté », met justement en exergue le fait que les problèmes associés au foncier freinent les efforts de réduction de la pauvreté à travers le monde et ce, jusqu'à provoquer des « bains de sang » [14].

Enjeux environnementaux

La troisième et dernière section de ce chapitre aborde l'analyse de l'impact de la filière de l'éthanol sous l'angle de l'environnement. La première sous-section fait ressortir les impacts positifs de la filière de l'éthanol sur l'environnement qui font qu'une partie de l'opinion publique prêche en faveur de l'éthanol avec notamment la réduction des émissions de GES et les perspectives prometteuses de la filière de l'éthanol cellulosique. La deuxième sous-section, quant à elle, aborde les aspects environnementaux en défaveur de la filière de l'éthanol dont les plus saillants sont l'érosion des sols, l'utilisation accrue d'engrais et de produits chimiques qui constituent une menace pour les écosystèmes et la qualité de l'eau, un bilan énergétique douteux pour certains, des émissions de gaz dont la qualité est encore controversée par certains groupes réfractaires et des campagnes de déforestation qui interpellent les groupes environnementaux.

▪ Arguments en faveur de l'éthanol

Les partisans de la filière de l'éthanol soutiennent que l'utilisation de ce biocarburant permet de diminuer les émissions de GES par rapport à l'essence. Avec un secteur des transports responsable de plus de 25 % des émissions de GES. Cette thèse s'appuie sur le fait que les cultures destinées à la production de l'éthanol absorbent des quantités importantes de CO₂ lors de leur croissance. Les mélanges contenant 85 % d'éthanol (E85) peuvent permettre de réduire les émissions de 60 % à 80 % (2). Les chercheurs se rejoignent sur le fait que la filière de l'éthanol permet de réduire le niveau des émissions de GES pouvant aller de 30 à 94 % lorsqu'ils sont utilisés à l'état pur.

Exemples : Pour notre cas, on constate une diminution de près de 7% COV, 30% de monoxyde de carbone, 6% à 10% de gaz carbonique et plus de 15% de SO₂. Or, notre mélange n'était qu'à 10% d'éthanol contre 90% d'essence.

Plusieurs études ont été menées pour analyser le cycle de vie de l'éthanol « du puits à la roue », et elles s'accordent toutes à dire que les émissions de GES sont moindres comparativement à celles émanant des énergies fossiles au même titre que la consommation d'énergie fossile.

La filière de l'éthanol est considérée comme une énergie alternative qui s'inscrit dans la lignée des énergies renouvelables au même titre que l'énergie éolienne. Une énergie qui vient apporter, en partie, une solution à la forte dépendance du secteur du transport à l'égard des produits pétroliers dont les impacts sur l'environnement sont dénoncés par la communauté internationale. Cette source d'énergie alternative ouvre la voie à de nouvelles avenues notamment la filière cellulosique dont les bénéfices environnementaux sont prometteurs. En effet, les cultures à croissance rapide du type taillis, présente des avantages non négligeables notamment des exigences faibles en matière de fertilisants et de produits phytosanitaires (IFP, 2006e). L'avenue de la filière cellulosique permet d'intégrer les matières résiduelles des usines spécialisées en agroalimentaire et faire de l'écologie industrielle une réalité dans ce domaine.

▪ Arguments en défaveur de l'éthanol

La production de l'éthanol à l'échelle industrielle présente cependant des inconvénients du fait des impacts environnementaux engendrés par des systèmes de production intensifs ravageurs pour les écosystèmes. À titre de rappel, la culture du maïs se résume brièvement à une demande importante en eau, une utilisation intensive de tracteurs alimentés à l'énergie fossile, une utilisation accrue d'engrais issus de produits pétroliers, un appauvrissement de la qualité des sols, la déforestation pour l'acquisition de plus grandes étendues de terres et une utilisation importante de produits phytosanitaires. Au-delà du fait d'occuper des terres arables de bonne qualité au détriment de l'alimentation des êtres humains, la culture des céréales à des fins énergétiques répond plus que jamais à des prérogatives de rentabilité qui se traduisent par un impact sur la richesse, l'érosion et la stabilité des sols. S'ajoute à cette liste, les problèmes de pollution diffuse au niveau des eaux de surface et souterraine qui ne

peuvent que s'aggraver aux vues des ambitions qu'ont les pays producteurs pour le secteur de l'éthanol.

En ce qui a trait aux émissions de GES, les chercheurs pensent que les avantages de l'éthanol en la matière ne reposent pas sur des conclusions scientifiques solides. L'utilisation de l'éthanol permet de réduire les émissions de monoxyde de carbone mais engendre cependant la formation d'une grande quantité de molécules d'ozone, principales responsables du smog dans les milieux urbains.

L'analyse des émissions émises au niveau du tuyau d'échappement d'une voiture ne représente que la partie visible de l'iceberg. Il est important de se pencher sur le cycle de vie « du puits à la roue » de l'éthanol depuis l'ensemencement des graines de maïs ou les plants de canne à sucre à l'utilisation de l'éthanol en tant que carburant. D'un point de vue consommation énergétique, l'analyse de la filière de l'éthanol passe par un procédé de fabrication responsable d'une consommation importante d'énergie. Il faut ajouter à ce bilan, les dommages collatéraux engendrés par les opérations de déforestation avec le cas de l'Indonésie dont le gouvernement prévoit de raser 16,5 millions d'hectares au profit de la production de l'huile de palme. En Malaisie, à Sumatra et Bornéo, la déforestation touche respectivement six millions d'hectares et quatre millions d'hectares. Le cas de l'Indonésie est farouchement dénoncé par l'organisation non gouvernementale les Amis de la Terre où les pratiques de déforestation commanditées par la société productrice d'huile de Palme, Wilmar, sont courantes au profit des géants de l'industrie agroalimentaire à savoir les groupes Unilever, Nestlé et Cargill.

ANNEXE 4. Changements climatiques

La présente section, dans un premier temps, rappelle brièvement le mécanisme d'effet de serre et les différents types de GES responsables du phénomène de réchauffement climatique. Dans un deuxième temps, elle met en relief la part des GES émis par le secteur du transport pour dresser un bref bilan de leurs impacts sur l'environnement, sur l'économie et sur la société.

Situation climatique : Les GES

L'effet de serre est un phénomène naturel par lequel l'énergie du rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère y est retenue pour maintenir la température à la surface du globe terrestre autour de +15 °C. En l'absence de ce phénomène, la température ambiante serait de - 18 °C.

Quel est le mécanisme qui entraîne ce réchauffement ?

Ce phénomène prend racine dans le fait que les radiations renvoyées par le globe terrestre vers l'atmosphère sont captées au cours de leur trajet par des molécules présentes dans la troposphère. L'énergie captée induit, entre autres, le mouvement des atomes, les uns par rapport aux autres, libérant de l'énergie sous forme de radiations infrarouges vers la troposphère et l'atmosphère entraînant ainsi son réchauffement (1). Selon le Groupe d'experts international sur l'évolution du climat (GIEC), la concentration des GES a nettement augmenté au cours du dernier siècle. La concentration du dioxyde de carbone (CO₂) est passée de 280 ppm à environ 367 ppm, entre les années 1750 et 2000.

Tableau : Concentrations atmosphériques et potentiel de réchauffement planétaire de certains GES (Gaz à effet de serre)

Gaz à effet de serre	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Concentration en 1750	280 ppm	700 ppb	270 ppb
Concentration en 1998	365 ppm	1745 ppb	314 ppb

Augmentation de la concentration	30 %	150 %	16 %
Potentiel de réchauffement planétaire	1	23	296
Temps de séjour atmosphérique	50 à 200 ans	12 ans	114 ans

Le CO₂ reste la molécule la plus problématique compte tenu de son temps de résidence dans la troposphère évalué à un maximum de deux siècles. Selon les modèles, « la concentration de CO₂ dans l'atmosphère équivaldrait à plus du double de la concentration de l'époque préindustrielle » (15).

En 1990, les émissions mondiales de CO₂ dues aux activités humaines s'élèvent à environ 33144000 kilotonnes-équivalent de CO₂, soit une moyenne de 6,3 kilotonnes-équivalent par personne (15). Cette situation est le résultat d'une activité humaine intense caractérisée par une utilisation accrue de sources énergétiques fossiles. Depuis 1958, 60 % de l'augmentation des concentrations des GES s'est produite sous l'impulsion de combustibles fossiles (9). Les GES sont responsables de l'augmentation de 20 % de la température pendant la dernière décennie. Il s'agit du plus grand changement observé depuis les 200 dernières années [6]. La famille des GES compte également, la vapeur d'eau (H₂O), le méthane d'origine anthropique, les hydrochlorofluorocarbones (HCFC), les chlorofluorocarbones (CFC), l'hexafluorure de soufre (SF₆) et l'ozone (O₃) troposphérique responsable du smog urbain.

Tous ces arguments nous démontrent que l'utilisation des énergies fossiles nous procure de nombreux avantages, notamment l'essence. Mais en même temps il détruit notre environnement d'une façon significative. C'est à cause de ces raisons qu'on doit trouver des alternatives aux énergies fossiles, les « carburants vert ».

**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO- ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO
DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL**



ANDRIANAIVONIRINA
Anjarasoa Rado
Lot 0708 G60 Ambohimena
Antsirabe 110
anjarasoarado77@gmail.com
033 07 777 33

**Mémoire de fin d'études en vue de
l'obtention du diplôme d'Ingénieur**
Contribution à l'élaboration des bilans
énergétiques, technologiques et
écologiques d'un moteur à mélange
essence-alcool éthylique

Résumé

Les études bibliographiques nous ont permis de connaître le mode de fonctionnement d'un moteur thermique à allumage commandé et ses différents constituants.

Nous avons ensuite effectué des calculs et des essais pratiques sur les différentes caractéristiques du moteur Mercedes Benz W201 en adaptant le carburant à ce dernier.

Nous avons alors trouvé que l'ajout de l'éthanol à l'essence procure un gain significatif jusqu'à 15% en rendement général par rapport à l'essence ordinaire. Ce résultat nous démontre que le fait d'additionner de l'éthanol à l'essence est plus favorable pour le moteur, et ceci jusqu'à un taux de 30% sans avoir à apporter des modifications au moteur. De plus, l'éthanol est beaucoup moins polluant que l'essence.

Mots clés : moteur à allumage commandé, éthanol, essence, environnement

Summary

The study allows us to know the functioning instructions of a thermal engine with ignition control and its different parts.

Then, we have carried out the calculation and the practical tests on the different characteristic of the engine Mercedes Benz W201 to adapt the fuel with the engine. So we have found that the ethanol add with petrol gets a significant benefit in the order of 15% in global output compared with usual petrol. This result prove us that ethanol add is better for the engine than the usual petrol and this until 30% of ethanol without bringing engine alteration and moreover ethanol is less polluting than petrol.

Key words: engine with ignition control, ethanol, petrol, environment

Rubrique : Thermique

Nombre de pages : 99

Nombre de tableaux : 16

Nombre de figures : 36

Directeur de mémoire : Monsieur RASOLOFOARINDRIAKA Allain